UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL

FERNANDO RODRIGUES FERREIRA

**ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL DAS PRAIAS DO
GUARUJÁ (SP) ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DE LANÇAMENTOS
PONTUAIS DE ESGOTOS - EMISSÁRIO SUBMARINO DO
GUARUJÁ, CANAIS ARTIFICIAIS E RIOS DA PRAIA DO PEREQUÊ**

V. 1

São Paulo
2015

FERNANDO RODRIGUES FERREIRA

ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL DAS PRAIAS DO GUARUJÁ (SP)
ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DE LANÇAMENTOS PONTUAIS DE ESGOTOS -
EMISSÁRIO SUBMARINO DO GUARUJÁ, CANAIS ARTIFICIAIS E RIOS DA
PRAIA DO PEREQUÊ

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência Ambiental do
Instituto de Energia e Ambiente da
Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Mestre em Ciência Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Joseph Harari
Co-orientadora: Dra. Sílvia Maria Sartor

Versão Corrigida

(versão original disponível na biblioteca do Instituto de Energia e Ambiente)

São Paulo
2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, Fernando Rodrigues.

Análise da qualidade ambiental das praias do Guarujá (SP) através da avaliação de lançamentos pontuais de esgotos – emissário submarino do Guarujá , canais artificiais e rios da praia do Perequê./ Fernando Rodrigues Ferreira; orientador : Joseph Harari; co-orientadora: Silvia Maria Sartor.– São Paulo, 2015.

134f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Qualidade da água – Guarujá. 2. Esgoto . 3. Saneamento ambiental. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Fernando Rodrigues Ferreira

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência Ambiental do
Instituto de Energia e Ambiente da
Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Mestre.
Dissertação de Mestrado.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Professor Dr. Joseph Harari

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

Professor Dr. José Alberto Quintanilha

Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade de São Paulo

Professora Dra. Thaís da Cruz Alves dos Santos

Centro Universitário Monte Serrat

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que me deu saúde e tudo que precisei para execução desse estudo. Pois como está escrito, sem Ele nada podemos fazer. Na sequência agradeço as pessoas/instituições ligadas as esferas pessoal e profissional.

Na pessoal, agradeço aos meus pais, Armando e Cida, que não apenas acreditaram nos meus sonhos, mas sonharam comigo. Meus irmãos, Ana Paula e Rodrigo, que me deram forças nos momentos difíceis. A minha noiva e futura esposa Taís, que não apenas acreditou nos meus sonhos, mas tem caminhado comigo participando de cada passo meu, e demonstrando ser uma mulher virtuosa. A minha avó Maria José, que dès da minha infância têm cuidado de mim. E ao meu sobrinho Gabriel, que me alegra com seu jeito simples, sincero e amoroso de ser.

Na esfera profissional, agradeço primeiramente ao Professor Joseph Harari, orientador e amigo, me ajudando e me direcionando nessa caminhada. A Professora Sílvia Sartor, co-orientadora e mãe acadêmica, me ajudando, acreditando e investindo em mim dès da graduação. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, que acreditou e comprou a ideia desse estudo, e me possibilitando ingressar no programa. E a CAPES, financiadora da pesquisa.

RESUMO

FERREIRA, Fernando R.. Análise da qualidade ambiental das praias do Guarujá (SP) através da avaliação de lançamentos pontuais de esgotos - Emissário Submarino do Guarujá, canais artificiais e rios da Praia do Perequê. 2015. 135 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

A área de estudo se encontra no Município do Guarujá (SP), no litoral do Estado de São Paulo, possuindo uma população de 306.683 habitantes (IBGE, 2014). E por suas praias possuírem grande importância turística, durante períodos de alta temporada essa população aumenta, ultrapassando 900.000 habitantes. Por consequência do aglomerado populacional, milhões de litros de esgotos são gerados diariamente e precisam de uma destinação adequada. A forma escolhida para eliminar boa parte desses esgotos é lançando-os no mar através de emissário submarino, opção estratégica por afastá-lo para longe das praias. Porém, esses esgotos lançados podem interferir negativamente na qualidade das águas costeiras, na flora e na fauna, e nas características físico-químicas das águas da região, além dos riscos à saúde de banhistas caso retornem às praias. Também ocorrem problemas por falta de investimento em infraestrutura, lançamentos de esgotos em rios e córregos da área, interferindo na sua qualidade. A pesquisa consistiu na análise da qualidade ambiental das praias e águas costeiras do Guarujá, através da avaliação da qualidade ambiental da região. Foram consideradas três fontes de poluentes: Emissário Submarino de Esgotos do Guarujá, sete canais artificiais e três rios localizados na praia do Perequê. Dados pretéritos e simulações numéricas hidrodinâmicas e de dispersão foram utilizados na avaliação dos níveis de contaminação por esgotos. Os dados pretéritos foram extraídos de relatórios anuais publicados pela CETESB, referentes aos anos de 2008 a 2012, e de estudos realizados pela SABESP (2012). Os resultados do estudo indicaram que as fontes modeladas interferem na qualidade das águas da região. No caso do Emissário Submarino do Guarujá, as interferências com concentrações acima dos limites de balneabilidade ocorrem longe das praias, porém baixas concentrações de esgoto acabam chegando às praias. Já os canais e rios proporcionam grandes riscos à qualidade das praias, lançando suas águas diretamente nessas, inviabilizando seu uso para realização de atividades de contato primário, e expondo os banhistas a riscos de saúde.

Palavras-chave: Qualidade da água, Esgoto, Modelagem, Guarujá.

ABSTRACT

FERREIRA, Fernando R.. Analysis of the environmental quality of the beaches Guarujá (SP) by evaluating point releases of sewage - Emissary Guarujá Submarine, artificial canals and rivers of Perequê Beach. 2015. 135 f.

Dissertation (Master in Environmental Sciences) - Graduate Program in Environmental Science - Institute for Energy and Environment, University of São Paulo, São Paulo, 2015.

The study area is located in the city of Guarujá (SP), on the coast of São Paulo State, having a population of 306,683 inhabitants (IBGE, 2014). And for its beaches having great tourist importance, during periods of high season this population increases, exceeding 900,000 inhabitants. As a result of the agglomeration, millions of liters of sewage are generated daily and need a proper disposal. The form chosen to eliminate many of these drains is cast them into the sea through marine outfall, strategic option for distancing them away from the beaches. However, these cast sewage may negatively impact on the quality of coastal waters, flora and fauna, and the physicochemical characteristics of the water in the region and risks to the health of bathers case return to the beaches. Also there are problems due to lack of investment in infrastructure, sewage spills into rivers and streams of the area, impacting their quality. The research consisted in the analysis of environmental quality of beaches and coastal waters of Guarujá, by evaluating the environmental quality of the area. We considered three sources of pollutants: submarine outfall sewage of Guarujá, seven artificial channels and three rivers located on the beach Perequê. Historical data and hydrodynamic and dispersion numerical simulations were used for evaluation of sewage contamination levels. The historical data were extracted from annual reports published by CETESB, for the years 2008-2012, and studies by SABESP (2012). The results of the study indicated that the sources modeled interfere with the quality of the waters. In the case of Guarujá Submarine Emissary, interference with concentrations above the bathing limits occur away from the beaches, but low sewage concentration end up coming to the beaches. On the other hand, the channels and rivers provide great risks to the quality of beaches, throwing the contaminated water directly in those waters, preventing its use for primary contact activities, and exposing bathers to health risks.

Keywords: Water quality , Sewage, Modeling , Guarujá.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de Estudo - Município do Guarujá. Fonte: Modificado de Google Maps.	25
Figura 2: Locais de lançamentos de esgotos de dois sistemas de coleta de esgotos do município do Guarujá. Fonte: Modificado de Google Maps.	26
Figura 3: Representação esquemática de um emissário submarino. Fonte: UNEP/WHO (1996).	28
Figura 4: Canais artificiais localizados na Praia da Enseada, Emissário Submarino do Guarujá, e Rio Perequê localizado na Praia do Perequê. Fonte: Modificado de Google Maps.	29
Figura 5: Diferentes tipos de maré. Fonte: Lentini, 2007 apud RODRIGUES, 2012.	34
Figura 6: Representação dos processos de mistura em ambiente marinho estratificado. Na parte inferior escalas temporais e espaciais, e os principais fenômenos envolvidos. Fonte: Modificado de SUBTIL, 2012; BROOKS, 1984; E BLENINGER, 2006.	35
Figura 7: Pontos de monitoramento da SABESP próximo ao emissário (M1, M2, etc) e os córregos que chegam à praia (C1, C2, etc). Fonte: SABESP (2012).	38
Figura 8: Localização esquemática dos 69 rios utilizados nas simulações hidrodinâmicas. Fonte: Modificado de DHI (2008).	43
Figura 9: Condições iniciais do modelo referentes a: 1) Salinidade; 2) Temperatura; e 3) Densidade.	44
Figura 10: Comparação entre valores medidos e classificação das praias para cada ano.	52
Figura 11: Localização dos pontos de coleta utilizados por SABESP (2012).	58
Figura 12: Evolução latitudinal dos sistemas frontais frios pelo litoral ao longo do mês de janeiro de 2012 (CPTEC / INPE).	60
Figura 13: Evolução latitudinal dos sistemas frontais frios pelo litoral ao longo do mês de julho de 2012 (CPTEC / INPE).	61
Figura 14: Pressão atmosférica, temperatura do ar e vento na superfície (intensidades em preto e vetores em vermelho), calculados pelo modelo do NCEP / NCAR para o mês de janeiro de 2012, na posição 24,0285° S 046,2233°.	62
Figura 15: Pressão atmosférica, temperatura do ar e vento na superfície (intensidades em preto e vetores em vermelho), calculados pelo modelo do NCEP / NCAR para o mês de julho de 2012, na posição 24,0285° S 046,2233° W.	63
Figura 16: Bússola e histograma angular do vento na superfície, calculados pelo modelo do NCEP / NCAR para o mês de janeiro de 2012, na posição 24,0285° S 046,2233° W.	63
Figura 17: Bússola e histograma angular do vento na superfície, calculados pelo modelo do NCEP / NCAR para o mês de julho de 2012, na posição 24,0285° S 046,2233° W.	64

Figura 18: Valores máximos de radiação solar para o município de Guarujá. coletados pela estação automática localizada na Ilha da Moela – SP. Fonte dos dados brutos: INMET.	66
Figura 19: Pontos de observação para análise hidrodinâmica. Subárea em azul contempla os estuários de Santos e São Vicente, em amarelo o Canal de Bertiooga, em vermelho a Baía de Santos, e em verde a região costeira.	67
Figura 20: Comparação dos resultados de nível do mar do modelo referentes ao processamento de maré (azul) com previsão harmônica (vermelho), para a Ilha da Moela (ponto de observação MIM), em janeiro de 2012.	69
Figura 21: Correntes superficiais do estuário de Santos e São Vicente durante a enchente da maré. Dia 02/10/2012 as 03:00 hrs UTC.	70
Figura 22: Correntes superficiais do estuário de Santos e São Vicente durante a vazante da maré. Dia 01/10/2012 as 20:00 hrs UTC.	71
Figura 23: Ponto CP1 para outubro/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.	71
Figura 24: Ponto SV1 para outubro/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.	72
Figura 25: Ponto Cos para outubro/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.	72
Figura 26: Histogramas angulares (m/s) das correntes de outubro/2012. Simulação com todas as forçantes.	74
Figura 27: Transecto de salinidade no Canal do Porto iniciando no ponto CP1 até ponto Cos.	75
Figura 28: Correntes superficiais do Canal de Bertiooga durante enchente da maré. Dia 09/03/2012 as 03:00 hrs UTC.	77
Figura 29: Correntes superficiais do Canal de Bertiooga durante enchente da maré. Dia 09/03/2012 as 06:00 hrs UTC.	78
Figura 30: Correntes superficiais do Canal de Bertiooga durante vazante da maré. Dia 09/03/2012 as 09:00 hrs UTC.	78
Figura 31: Ponto CB1 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.	79
Figura 32: Ponto CB2 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.	79
Figura 33: Ponto CB3 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.	80
Figura 34: Histogramas angulares (m/s) das correntes de março/2012. Simulação com todas as forçantes.	82
Figura 35: Transecto de salinidade no Canal do Porto entre os pontos CB3 (a esquerda) e CB1 (a direita).	83
Figura 36: Correntes superficiais da Baía de Santos durante a vazante da maré. Dia 19/07/2012 as 11:00 hrs UTC.	85

Figura 37: Correntes de meia profundidade da Baía de Santos durante a enchente da maré. Dia 15/07/2012 as 11:00 hrs UTC.....	85
Figura 38: Correntes superficiais da Baía de Santos durante ventos de Oeste. Dia 18/07/2012 as 18:00 hrs UTC.....	86
Figura 39: Ponto BS3 para julho/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade de superfície. Simulação com todas as forçantes.86	
Figura 40: Ponto BS3 para julho/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade de meia profundidade. Simulação com todas as forçantes.....	87
Figura 41: Transecto de salinidade entre a praia de Santos até a desembocadura da baía.	88
Figura 42: Histogramas angulares (m/s) das correstes de julho/2012. Simulação com todas as forçantes.....	89
Figura 43: Correntes para sudoeste atuando na superfície da região costeira da área de estudo. Dia 06/03/2012 as 22:00 hrs UTC.	91
Figura 44: Correntes para norte atuando na superfície da região costeira da área de estudo. Dia 25/03/2012 as 02:00 hrs UTC.	92
Figura 45: Correntes para nordeste atuando na superfície da região costeira da área de estudo. Dia 23/03/2012 as 18:00 hrs UTC.	92
Figura 46: Correntes para nordeste atuando na meia profundidade da região costeira do Guarujá. Dia 23/03/2012 as 18:00 hrs UTC.....	93
Figura 47: Correntes para nordeste atuando no fundo da região costeira do Guarujá. Dia 23/03/2012 as 18:00 hrs UTC.....	93
Figura 48: Ponto PG2 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.94	
Figura 49: Ponto ESG para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.94	
Figura 50: Ponto BT1 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.95	
Figura 51: Bussola com direção e intensidade de corrente de superfície no ponto de lançamento do Emissário Submarino do Guarujá.	97
Figura 52: Transecto de salinidade entre a Praia da Enseada no Guarujá até a área de lançamento do Emissário Submarino do Guarujá.	98
Figura 53: Histogramas angulares (m/s) das correstes de março/2012. Simulação com todas as forçantes.....	99
Figura 54: Localização dos pontos de monitoramento utilizados no estudo de modelagem. Eles são, aproximadamente, os pontos utilizados pela CETESB em seu monitoramento das praias. Já os pontos referentes aos trabalhos da SABESP são exatamente os mesmos.	102
Figura 55: Concentração média de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial das praias da Enseada e de Pitangueiras no mês de março.	103

Figura 56: Concentração máxima de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial das praias da Enseada e de Pitangueiras no mês de março.....	103
Figura 57: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA nº 274/2000, na camada superficial das praias da Enseada e de Pitangueiras, no mês de março.....	104
Figura 58: Concentração média de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial da praia do Perequê no mês de julho.....	104
Figura 59: Concentração máxima de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial da praia do Perequê no mês de julho.	105
Figura 60: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA nº 274/2000, na camada superficial da Praia do Perequê, no mês de julho.	105
Figura 61: Histograma angular com diâmetro da pluma formada pelo difusor após lançamento pelo Emissário Submarino do Guarujá. Mês de janeiro/2012.....	108
Figura 62: Histograma angular com comprimento da pluma formada pelo difusor após lançamento pelo Emissário Submarino do Guarujá. Mês de janeiro/2012.....	109
Figura 63: Histograma angular com a concentração de enterococos gerada pela influencia de um difusor após lançamento pelo Emissário Submarino do Guarujá. Mês de janeiro/2012.	109
Figura 64: Histograma angular com a concentração de enterococos gerada pela influencia de um difusor após lançamento pelo Emissário Submarino do Guarujá. Mês de julho/2012.	110
Figura 65: Concentração máxima de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial no mês de janeiro/2012.....	113
Figura 66: Concentração média de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial no mês de janeiro/2012.....	113
Figura 67: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA nº 274/2000, na camada superficial no Mês de janeiro/2012.	114
Figura 68: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA nº 274/2000, na camada de meia profundidade no mês de janeiro/2012.....	114
Figura 69: Localização dos pontos de monitoramento utilizados no estudo de modelagem. Eles são, aproximadamente, os pontos utilizados pela CETESB em seu monitoramento das praias. Já os pontos referentes aos trabalhos da SABESP são exatamente os mesmos.	115
Figura 70: Concentração máxima de enterococos (UFC/100 ml) na camada de meia profundidade no mês de julho/2012.	118
Figura 71: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA nº 274/2000, na camada de meia profundidade no mês de julho/2012.....	118
Figura 72: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Enseada (Estrada de Pernambuco). Mês de março/2012.	120

Figura 73: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Enseada (Av. Santa Maria). Mês de março/2012.	120
Figura 74: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Tombo. Mês de março/2012.	121
Figura 75: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Perequê. Mês de março/2012.	121
Figura 76: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Perequê. Mês de julho/2012.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Etapas presentes em Estações de Tratamento de Esgotos consideradas completas. Fonte: Adaptado de FUNIBER.	22
Tabela 2: Porcentagem de ocorrência de cada categoria e qualificação anual. Fonte: CETESB (2012).	30
Tabela 3: Vazões estimadas em função do número de habitantes. Foi considerada uma produção de esgotos diária de 200 litros por pessoa. Os volumes lançados pelo ESG correspondem a dois quintos do total.	45
Tabela 4: Valores de unidade formadora de colônia de enterococos por 100 mL de água para os anos de 2008 a 2012. Apresentados valores máximos, médios e frequência de valores impróprios segundo Resolução do CONAMA N° 274/2000.	49
Tabela 5: Valores médios de unidade formadora de colônia de enterococos por 100 mL de água para os anos de 2008 a 2012.	49
Tabela 6: Porcentagem dos períodos com bandeira informando qualidade imprópria para recreação de contato primário.	50
Tabela 7: Resultados máximos da comparação de valores medidos e classificação das praias por mês.	52
Tabela 8: Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) nos rios da Praia do Perequê.	53
Tabela 9: Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) nos canais artificiais da Praia da Enseada.	54
Tabela 10: Valores coletados por SABESP em 17/10/2011 na região do Emissário Submarino do Guarujá.	56
Tabela 11: Valores coletados por SABESP em 17/10/2011 na região do Emissário Submarino do Guarujá (continuação).	56
Tabela 12: Valores coletados por SABESP em 16/01/2012 na região do Emissário Submarino do Guarujá.	57
Tabela 13: Valores coletados por SABESP em 16/01/2012 na região do Emissário Submarino do Guarujá (continua).	57
Tabela 14: Número de sistemas frontais frios que chegaram a latitude do município de Guarujá.	59
Tabela 15: Estatística básica dos dados do NCEP / NCAR para janeiro de 2012, referente à média, desvio padrão, mediana, mínimo, máximo, curtose e assimetria para as variáveis temperatura do ar, pressão ao nível do mar, umidade relativa, água precipitável, componentes EW e NS do vento e intensidade do vento, na superfície....	64
Tabela 16: Estatística básica dos dados do NCEP / NCAR para julho de 2012, referente a média, desvio padrão, mediana, mínimo, máximo, curtose e assimetria para as variáveis temperatura do ar, pressão ao nível do mar, umidade relativa, água precipitável, componentes EW e NS do vento e intensidade do vento, na superfície....	64

Tabela 17: Coordenadas dos pontos de observação. DATUM WGS1984 e zona 23S.....	68
Tabela 18: Estatística básica de nível do mar para os meses de janeiro e julho de 2012.....	76
Tabela 19: Estatística básica de intensidade de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.....	76
Tabela 20: Nível do Mar.....	83
Tabela 21: Intensidade.....	84
Tabela 22: Estatística básica de nível do mar para os meses de janeiro e julho de 2012.....	89
Tabela 23: Estatística básica da componente zonal da corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.....	90
Tabela 24: Estatística básica da componente meridional de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.....	90
Tabela 25: Estatística básica de intensidade de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.....	90
Tabela 26: Estatística básica de nível do mar para os meses de janeiro e julho de 2012.....	100
Tabela 27: Estatística básica da componente zonal de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.....	100
Tabela 28: Estatística básica da componente meridional de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.....	100
Tabela 29: Estatística básica de intensidade de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.....	101
Tabela 30: Estatística simples das dispersão de campo próximo do Emissário Submarino do Guarujá para os meses de janeiro, março, julho e agosto de 2012.	112
Tabela 31: Dados coletados pela SABESP em 16/01/2015, e estatísticas básicas geradas com resultados do modelo de dispersão do emissário submarino para janeiro de 2012.....	124
Tabela AI-32: Rios utilizados nas simulações numéricas. Eles foram separados em grupos.....	132
Tabela AI -33: Grupos inseridos na grade do modelo. As vazões são médias mensais e estão em m ³ /s.....	133
Tabela AI -34: Grupos inseridos na grade do modelo. As vazões são médias mensais e estão em m ³ /s (continuação).....	134

LISTA DE ABREVIATURAS

CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EEE	Estações Elevatórias de Esgoto
EPC	Estação de Pré-Condicionamento
ETEs	Estações de Tratamento de Esgoto
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Prediction
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SIG	Sistema de Informação Geográfica

LISTA DE SÍMBOLOS

NMP/100 ml	Número Mais Provável do indicador bacteriano em 100 ml
UFC/100 ml	Unidade formadora de colônia em 100 ml
m	metros
m/s	metros por segundo
%	porcentagem
°C	graus celsius

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	13
LISTA DE ABREVIATURAS	15
LISTA DE SÍMBOLOS	16
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVOS.....	24
3. ÁREA DE ESTUDO	24
4. MODELAGEM AMBIENTAL.....	34
4.1 Processos de Mistura de Efluentes Lançados com Pressão	35
4.2 Modelos Numéricos para Simular as Zonas de Mistura de Efluentes Lançados com Pressão.....	36
5. METODOLOGIA.....	37
5.1 Resgate de Dados Pretéritos	37
5.2 Informações Meteorológicas.....	38
5.3 Fontes de Contaminação Consideradas no Estudo	39
5.3.1 Emissário Submarino do Guarujá	39
5.3.2 Canais Artificiais.....	40
5.3.3 Rios da Praia do Perequê	40
5.4 Modelagem Numérica.....	40

5.4.1	Forçantes Hidrodinâmicas.....	42
5.4.2	Dispersão de Esgoto.....	44
5.4.3	Validação	46
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1	Análise das Condições Ambientais – Dados Pretéritos	46
6.1.1	Praias do Guarujá	46
6.1.2	Canais Artificiais e Rios	53
6.1.3	Emissário Submarino do Guarujá	55
6.2	Meteorologia.....	59
6.3	Modelagem	67
6.3.1	Hidrodinâmica.....	67
6.3.2	Dispersão de Esgoto.....	101
7.	CONCLUSÃO.....	125
	REFERENCIAS	128
	ANEXOS I – Vazões dos rios.	132

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são regiões de grande importância econômica, política e social para muitas nações. Apresentando adensamentos populacionais muito bem desenvolvidos, com atividades variadas que exploram e impactam o ambiente. As suas populações, estimadas em 3 bilhões de pessoas (a menos de 60 km da costa), utilizam as águas litorâneas como fonte de alimentos, recreação, transporte de mercadorias e pessoas, fonte de energia e de recursos minerais, além de corpo receptor para efluentes domésticos e industriais. Entretanto, essas ações humanas sobre o meio tem produzido diversos problemas ambientais, como os relacionados aos lançamentos pontuais e difusos de esgotos domésticos e industriais em águas marinhas, estuarinas e doces (FERREIRA, 2008), que resultam na alteração das características físico-químicas do ambiente, e degradação da flora e fauna aquática. E considerando a estimativa para 2025, de 6 bilhões de pessoas vivendo a menos de 60 km da costa (ROBERTS *et al.*, 2010; COHEN *et al.*, 1997), podemos dizer que os problemas ambientais só tentem a aumentar, seguindo para níveis catastróficos.

Esgotos Domésticos

O seu lançamento em corpos hídricos é uma estratégia utilizada a muitos anos como técnica de disposição de efluentes e tratamento natural. Porém os lançamentos podem influenciar na estrutura ecológica do local, interferindo no desenvolvimento dos organismos e alterando parâmetros físico-químicos do corpo hídrico. Essas influências podem ser positivas ou negativas, dependendo da composição química dos efluentes, volumes lançados e capacidade de suporte do ambiente.

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água (VON SPERLING, 2005). A fração restante geralmente é composta por elevadas

concentrações de sólidos totais, carbono orgânico total, nitrogênio, fósforo, sulfetos, cloretos, metais pesados, hidrocarbonetos, pesticidas e outras substâncias que apresentam ou não potencial de toxicidade, além de microrganismos, como vírus, fungos, bactérias e protozoários patogênicos (ABESSA *et al.*, 2012).

Os corpos hídricos que recebem esses compostos necessitam de hidrodinâmica suficiente para renovação das suas águas, permitindo uma diluição satisfatória e elevando as taxas de oxigênio dissolvido. Isso é necessário para que as concentrações lançadas não se tornem nocivas ao ambiente aquático, como também para reposição do oxigênio consumido devido decomposição de matéria orgânica.

Em casos que a hidrodinâmica do ambiente não é suficiente e/ou existam regiões sensíveis próximas ao lançamento, como praias e regiões de aquicultura, impactos negativos são gerados, conduzindo a problemas ambientais e sociais. Entre os diversos impactos, podemos destacar a contaminação microbiológica das águas com patógenos que possibilitam riscos a saúde humana, e inviabilizam o consumo de organismos filtradores, como ostras, mexilhões e camarões. Esses organismos filtram os agentes patogênicos e os acumulam em seus tecidos internos, se tornando portadores passivos (BURKHADT & CALCII, 2000; SILVA *et al.*, 2003).

Outro problema refere-se à elevação da concentração de matéria orgânica e nutriente no meio marinho, possibilitando processos de eutrofização e possível morte do corpo hídrico - a morte do ambiente aquático ocorre quando as taxas de oxigênio dissolvido cheguem a níveis críticos a vida aquática. Com a eutrofização também existe possibilidade de ocorrência de “blooms” de algas tóxicas, produzindo fenômenos nocivos de intoxicação de peixes, aves, mamíferos aquáticos e humanos (REBOLEIRA, 2004). Algas não produtoras de toxinas também podem ocasionar problemas aos demais

organismos, a ponto que aumentam as taxas de matéria orgânica particulada (biomassa) e, posteriormente, consomem elevadas taxas de oxigênio dissolvido devido decomposição da mesma.

O aumento da turbidez da coluna de água também pode influenciar negativamente o ambiente, reduzindo a taxa de produção primária e interferindo no desenvolvimento de organismos filtradores. A produção primária é vital para o ambiente aquático devido ser a base da cadeia alimentar, e responsável pela produção de oxigênio. O aumento da concentração de materiais em suspensão a níveis muito elevados reduz a penetração de luz solar na coluna de água, e assim, interfere na taxa. Isso gera problemas para os demais organismos que vivem no ambiente e dependem para alimentação e respiração dos organismos fotossintéticos. O aumento da turbidez também interfere no desenvolvimento de organismos filtradores, podendo ocasionar entupimentos e morte dos organismos (CHRISTO *et al.*, 2008).

Produtos químicos e metais pesados afetam a flora e fauna, interferindo no desenvolvimento e ocasionando a morte. Eles não apenas produzem toxicidade nas águas, mas também podem bioacumular nos tecidos dos organismos e serem transferidos na cadeia trófica.

Tratamentos de efluentes podem ocorrer a fim de evitar impactos negativos como esses sobre os ambientes aquáticos, principalmente próximos a regiões sensíveis. Os tratamentos têm a função de remoção de sólidos suspensos, gorduras, poluentes não biodegradáveis e microrganismos patogênicos, e redução dos níveis de matéria orgânica e nutrientes.

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são reesponsáveis pelos tratamentos e disposição do efluente. Elas podem ser consideradas completas ou não, dependendo

das necessidades dos afluentes, dos corpos hídricos receptores e dos valores financeiros a investir. Normalmente ETEs considerada completa são compostas por cinco etapas, apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1: Etapas presentes em Estações de Tratamento de Esgotos consideradas completas. Fonte: Adaptado de FUNIBER.

Níveis de Tratamento	Objetivos
Tratamento preliminar	Retenção de grossos flutuantes; Redução do tamanho dos sólidos; Separação de areia em suspensão; Separação de gorduras e óleos; e Homogeneizar a concentração e a vazão da água residuária.
Tratamento primário	Redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5^*) pelo menos em 20%; e Redução dos sólidos em suspensão de cerca de 50-85%.
Tratamento secundário	O afluente do tratamento secundário deve ter a redução da sua DBO_5^* inicial em 70-90% e dos sólidos totais em 90%.
Tratamento terciário	Separação dos poluentes orgânicos não biodegradáveis e dos nutrientes minerais.
Desinfecção	Eliminação de microrganismos patogênicos.

* DBO_5 : Parâmetro que quantifica o consumo de oxigênio dissolvido devido a decomposição da matéria orgânica por processos biológicos.

Em situações que as ETEs não foram construídas com todas as etapas devido aos custos, os corpos hídricos ficam responsáveis pelas etapas não contempladas, e vulneráveis a impactos negativos.

Em muitos países existem normas para controle dos volumes lançados, e diagnóstico e monitoramento da qualidade do ambiente. No Brasil foram criadas as Resoluções do CONAMA nº 274/2000 e nº 357/2005, dispondo sobre a classificação dos corpos de água, e fornecendo diretrizes ambientais para o seu enquadramento. A CONAMA nº 274/2000 refere-se especificamente a balneabilidade de corpos de águas utilizados para recreação de contato primário, indicando limites a fim de garantir a saúde e bem estar dos banhistas. Os classificando como Próprias ou Impróprias, dependendo das densidades encontradas dos indicadores biológicos em cinco coletas semanais consecutivas. A classificação como Imprópria ocorre se duas ou mais coletas apresentarem densidades superiores aos limites estabelecidos. Os indicadores biológicos quantificam indiretamente os níveis de contaminação das águas por esgotos domésticos. A resolução indica uso de três indicadores: coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e enterococos. A classificação Própria subdivide-se em Excelente, Muito Boa e Satisfatória. Já a CONAMA nº 357/2005 visa garantir a qualidade das águas segundo o tipo de utilização por parte da sociedade, não considerando o estado atual do corpo hídrico, mas a sua importância. Ela separa as águas em doce, salobra e salina, com subclasses segundo sua utilização, e fornece condições e padrões específicos para diversos parâmetros ambientais, orgânicos e inorgânicos, como nutrientes, oxigênio dissolvido, metais pesados, pH e clorofila a. Permitindo assim elaboração de propostas de recuperação e monitoramento de ambientes aquáticos sobre ação antrópica. No caso de corpos hídricos que os valores limites dos parâmetros ambientais forem ultrapassados, alguns usos podem ser inviabilizados, como a recreação por contato primário e secundário, a produção e manutenção dos estoques pesqueiros para fins de pesca e aquicultura, os usos para fins de preservação do equilíbrio ecológico, entre outros.

2. OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade das águas do município do Guarujá que estão sob influência de fontes de contaminação por esgotos, buscando entendimento sobre o processo dinâmico de dispersão e diluição dos efluentes, bem como as regiões impactadas. Para isso, simulações numéricas de dispersão de esgotos, considerando o Emissário Submarino do Guarujá, sete canais artificiais e rios localizados na praia do Perequê, foram realizadas e analisadas, considerando condições hidrodinâmicas no ano de 2012. Nesse tipo de estudo, as informações hidrodinâmicas são de grande valia para identificação das condições de mar que proporcionam mais riscos à qualidade das praias e das águas costeiras da região.

O presente estudo também objetivou o desenvolvimento de modelos que, após calibração fina, poderão servir como modelos preditivos, possibilitando o desenvolvimento de sistemas mais eficientes de indicação de qualidade balnear das praias. Esse estudo teve também o objetivo de proporcionar o desenvolvimento de conhecimento científico para a região, visto que a maioria dos estudos realizados na Baixada Santista focam nas regiões dos municípios de Santos e São Vicente, com menor cobertura das regiões adjacentes.

3. ÁREA DE ESTUDO

A região do município do Guarujá, localizado no litoral do Estado de São Paulo, é um exemplo de região que está sob impacto devido às atividades antrópicas. O município é formado por dois polos administrativos e de ocupação urbana; o Distrito de Vicente de Carvalho, que ocupa a faixa delimitada pelo Canal do Porto e pela Rodovia Piaçaguera (SP-055), e Guarujá, sede de município, que ocupa a Orla Marítima (**Figura 1**). Sua população fixa é estimada em 306.683 habitantes (IBGE, 2014), porém, devido

a sua importância turística, em períodos de alta temporada esse número sobe para mais de 900.000 habitantes (SSP, 2011). Com toda essa população, grandes impactos são gerados no ambiente, especialmente quando há falta de infraestrutura suficiente em saneamento básico. Quando grandes volumes de esgotos domésticos são lançados nos corpos hídricos, podem interferir negativamente nas características físico-químicas das águas, degradando a flora e fauna, e produzindo riscos a saúde dos seres humanos. A informação extada do volume de esgotos lançados nas águas pela população do município não é apresentada ao público pela SABESP, empresa responsável pelo tratamento e disposição dos esgotos. Mas podemos medir esse volume ao considerarmos uma produção diária de 200 litros de esgoto por pessoa (VON SPERLING, 2005), resultando em 61 milhões de litros. Esse número é só referente à população fixa estimada em 306.683 habitantes (IBGE, 2014). Ao consideramos a população flutuante, esse volume tende a aumento em duas a três vezes.

Figura 1: Área de Estudo - Município do Guarujá. Fonte: Modificado de Google Maps.

Até a data do estudo, os esgotos produzidos pela população do município são encaminhados através de três sistemas de coleta de esgotos sanitários, para destinação final.

Um dos sistemas de coleta contempla o Distrito de Vicente de Carvalho lançando os esgotos no Rio Acaraú, que deságua no Canal de Bertioga e no Canal do Porto (**Figura 2**). Antes os esgotos passam pela Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de Vicente de Carvalho, inaugurada em 2011.

O segundo sistema de coleta contempla, parcialmente, o bairro Morrinhos (**Figura 2**), lançando os esgotos coletados através das estações elevatórias de esgoto (EEE-1, 2 e 3) no canal de drenagem do loteamento (corpo de água adjacente ao loteamento); esses esgotos são lançados em estado bruto (“in natura”).

Figura 2: Locais de lançamentos de esgotos de dois sistemas de coleta de esgotos do município do Guarujá. Fonte: Modificado de Google Maps.

O terceiro sistema de coleta está instalado na sede do município, em Guarujá, atendendo principalmente a orla marítima e alguns bairros. Este sistema direciona os esgotos coletados para estações elevatórias de esgoto (EEE) que os recalca a Estação de Pré-Condicionamento Vila Zilda (EPC Vila Zilda), localizada no distrito de Vicente de

Carvalho. Esse sistema contempla sete praias (de Guaiuba, das Astúrias, do Guarujá, das Pitangueiras, da Enseada, do Tortuga e do Pernambuco) e, parcialmente, quatro bairros (bairros de Santa Rosa e Morrinhos e os Jardins Bela Vista e Brasil).

Na Estação EPC Vila Zilda os esgotos são pré-condicionados para disposição oceânica final, na Enseada do Guarujá, através de um emissário terrestre e o Emissário Submarino do Guarujá.

Uma parte significativa dos esgotos produzidos pela população do município é lançada para destinação final utilizando esse terceiro sistema de coleta, ou seja, lançando os esgotos no mar através do Emissário Submarino do Guarujá.

Os emissários submarinos constituem-se de uma longa tubulação assentado no fundo marinho, que em seu trecho final atinge grandes profundidades, onde ocorre o lançamento do efluente ao mar por meio de vários difusores (orifícios) (**Figura 3**). Nesse sistema de disposição de esgoto, o mar fica responsável por diluir e depurar o material lançado, isso porque as estações de pré-condicionamento não realizam processos de tratamento primário do esgoto, mas apenas gradeamento e peneiramento, com o objetivo de remover os sólidos grosseiros e parte do material em suspensão, e desinfecção, através de adição de cloro.

Figura 3: Representação esquemática de um emissário submarino. Fonte: UNEP/WHO (1996).

A disposição final de esgotos através de emissários submarinos implica em benefícios para a qualidade das praias, na medida em que afasta o esgoto das mesmas, porém pode influenciar negativamente o litoral, caso o sistema não seja bem dimensionado e operado (ORTIZ *et al.*, 2007).

O funcionamento inadequado do emissário submarino pode expor os banhistas a bactérias, vírus e protozoários patogênicos, conduzindo a riscos de desenvolverem doenças como gastroenterite, hepatite A, cólera, febre tifoide, dermatoses, conjuntivite, otite e doenças das vias respiratórias (CETESB, 2010). Além disso, impactos sobre o corpo receptor podem ocorrer, como “blooms” de algas tóxicas devido ao enriquecimento das águas com nutrientes, causando a morte de peixes. Desta maneira, a presença de coliformes fecais – parâmetro indicativo da presença de esgoto doméstico – em densidades superiores aos padrões estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº. 274/2000, representam riscos à saúde pública, uma vez que as praias são utilizadas para recreação de contato primário. As principais vítimas são crianças, idosos e pessoas com baixa resistência.

Outras fontes de riscos à saúde dos banhistas e de interferência na qualidade do ambiente marinho, são os canais artificiais que desagüam na orla da Praia da Enseada (**Figura 4**). Esses canais recebem quantidades elevadas de esgotos devido à ligação irregulares, interferindo na qualidade deles e posteriormente na qualidade das águas das praias. Em períodos de chuvas, o volume precipitado escorre para os canais e chega à praia, levando junto os esgotos lançados. Estudos realizados por SABESP (2012) indicaram elevadas concentrações de coliformes termotolerantes em suas águas, na ordem de 10^3 a 10^5 .

Figura 4: Canais artificiais localizados na Praia da Enseada (C1 a C7), Emissário Submarino do Guarujá, e Rio Perequê localizado na Praia do Perequê. Fonte: Modificado de Google Maps.

Os rios que desembocam na praia do Perequê, apresentados na **Figura 4**, interferem negativamente na qualidade da praia citada. Isso ocorre por conta da falta de investimentos nos bairros localizados na região, que não possuem rede coletora de esgoto. Desta forma, os esgotos acabam sendo lançados de forma difusa no corpo hídrico e chegando ao mar. CETESB (2012) identificou concentrações de 37.000 (NMP/100 ml) coliformes termotolerantes nas águas do Rio Perequê, 250.000 (NMP/100 ml) coliformes termotolerantes no Rio 1, e 99.000 (NMP/100 ml) coliformes termotolerantes no Rio 2, no ano de 2012. Indicando forte contaminação das águas por esgotos. Em monitoramentos realizados por CETESB (2003 a 2012) foram obtidos concentrações elevadas dos indicadores biológicos nas águas da Praia do Perequê, a tornando imprópria para banho de mar em quase 100% do tempo, indicando poluição crônica da região.

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), que responde ao Governo do Estado de São Paulo. É responsável por controlar, fiscalizar, monitorar e licenciar atividades geradoras de poluição. Desta forma realiza monitoramentos de qualidade das águas litorâneas do Estado desde 1974. As praias do município do Guarujá são monitoradas utilizando 11 pontos distribuídos em suas sete praias. Tradicionalmente, são realizadas coletas semanais nos 11 pontos, acumulando, durante o ano, 572 amostras.

Segundo o relatório CETESB (2012), houve uma piora na qualificação anual das condições de balneabilidade das praias do município do Guarujá, comparado ao ano anterior. As praias no ano de 2012 foram todas classificadas com qualidade regular, ruim e péssima, diferenciando do ano de 2011 que ocorreram praias classificadas com qualidade boa. Utilizando os critérios presentes na Resolução do CONAMA nº 274/2000, as praias durante o ano de 2012 variaram muito suas classificações, indicando que suas águas recebem de formas crônicas ou intermitentes influência de esgotos de origem doméstica (**Tabela 2**).

Tabela 2: Porcentagem de ocorrência de cada categoria e qualificação anual. Fonte: CETESB (2012).

PRAIA - LOCAL DE AMOSTRAGEM	EXCELENTE (%)	MUITO BOA (%)	SATISFATÓRIA (%)	IMPRÓPRIA (%)	QUALIFICAÇÃO ANUAL
PEREQUÊ	0	0	0	100	PÉSSIMA
PERNAMBUCO	55	25	6	15	REGULAR
ENSEADA (ESTR. DE PERNAMBUCO)	28	26	19	26	RUIM
ENSEADA (AV ATLÂNTICA)	51	8	17	25	REGULAR
ENSEADA (R CHILE)	11	23	30	36	RUIM
ENSEADA (AV. SANTA MARIA)	38	21	21	21	REGULAR
PITANGUEIRAS (AV PUGLISI)	53	11	23	13	REGULAR
PITANGUEIRAS (R SILVIA VALADÃO)	49	13	9	28	RUIM
ASTÚRIAS	21	32	19	28	RUIM
TOMBO	77	11	4	8	REGULAR
GUAIÚBA	64	11	19	6	REGULAR

Os monitoramentos realizados pelo órgão apenas identifica a concentração no momento da coleta, deixando um vazio até a coleta da próxima semana. Isso é um problema ao considerar o dinâmico processo de dispersão do esgoto nas águas. As concentrações tentem a variar significativamente influenciada pelas variáveis ambientais, como radiação solar, temperatura e salinidade, especialmente a radiação solar. Em locais com fontes intermitentes, o horário de lançamento também influencia drasticamente na concentração coletada. Para classificar as praias minimizando os efeitos das oscilações de curto prazo, como as devido a fontes intermitentes e ao instante de coleta, a CETESB utiliza método descrito na Resolução do CONAMA N° 274/2000. O método considera as cinco últimas coletas para classificação da qualidade das águas das praias. Se duas ou mais amostras tiverem valores superiores ao limite, ou a última coleta com valor superior ao limite máximo para o indicador biológico, e.g. 100 UFC/100 mL e 400 UFC/100 mL respectivamente para enterococos, a praia é classificada como imprópria, caso contrário, fica como própria. Isso possibilita a identificação de regiões sob contaminação crônica e intermitente, porém possibilita problemas entre a classificação e a qualidade das águas no momento. Isso porque o método considera as cinco ultimas coletas. Assim, á riscos da praia estar classificada como própria em momento que não está, ou imprópria quando está própria.

SARTOR & DEGASPARI (2000) calcularam discrepâncias entre a indicação da qualidade da praia e o valor coletado. O estudo obteve discrepâncias de até 50% entre a situação real e a indicação da praia do município de Santos.

Um sistema preditivo poderia ajudar muito, evitando que banhistas utilizem as praias durante períodos da má qualidade balnear. O sistema preveria a situação balnear através de modelos hidrodinâmicos e de dispersão de esgotos, considerando informações de maré, ventos, precipitação e volumes de esgotos a serem lançados.

Meteorologia e Hidrodinâmica

A circulação atmosférica na superfície do mar, na região Sudeste do Brasil, depende do Centro de Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul e de sua interação com a região de Baixa Pressão Subpolar (MOSCATI et al, 2000; SELUCHI & MARENGO, 2000). No limite entre essas duas áreas, ocorrem ventos de oeste intensos e instabilidades; essas instabilidades possuem escalas temporais de dias e espaciais de milhares de quilômetros.

Sob influência da Alta Subtropical, na região Sudeste brasileira prevalecem ventos na superfície do quadrante leste moderados, em geral não ultrapassando 5 m/s, e pressões relativamente altas, da ordem de 1025 hPa. As instabilidades provocam um padrão de condições atmosféricas típico da evolução de sistemas frontais frios, que pode ser descrito como ventos girando do quadrante leste para do quadrante norte, depois de Oeste, pressão atmosférica caindo, por volta de 10 hPa, seguido de ventos do quadrante Sul, temperatura diminuindo e pressão atmosférica em elevação. Na sequência, os ventos de sul vão girando novamente para ventos de leste, com temperatura e pressão aumentando, voltando a influência da Alta Subtropical.

A intensidade, a duração e o intervalo de tempo entre esses eventos apresentam variabilidade sazonal e interanual, podendo ser previstos somente com poucos dias de antecedência. Em geral, na costa Sudeste brasileira, os ventos do quadrante leste têm pequena intensidade (tipicamente menores que 5 m/s) e longa duração (5 a 10 dias), enquanto que o giro para os quadrantes norte e oeste ocorre rapidamente, com escala de horas e alta intensidade (indicando as chegadas dos sistemas frontais). Os ventos do quadrante Sul, mais intensos (da ordem 10 m/s), têm duração de 1 a 3 dias.

Uma das principais consequências das condições meteorológicas é a transferência de energia para as camadas superficiais do oceano, gerando campos de ondas e correntes marítimas. As maiores ondas observadas no litoral Sudeste brasileiro são geradas nas médias e altas latitudes, por tempestades originadas nos centros de baixa pressão que vêm da Antártica, associados às frentes frias (CANDELLA, 1997); essas ondas têm direção que varia entre SW e SE, atingindo toda a costa sul-sudeste do país (SIEGLE & ASP, 2007), como no caso de tempestades entre 35° e 55° S. Além das ondas geradas nas médias e altas latitudes, também ocorrem ondas de amplitudes significativas vindas de leste e nordeste, por influência dos ventos predominantes, associados ao Centro de Alta Pressão do Atlântico Sul (SEIXAS, 1997). As correntes marítimas geradas pelo cisalhamento do vento na superfície do mar possuem direções e intensidades relacionadas a ele. Nas águas da plataforma esse o vento é a principal forçante geradora de correntes, pois possui pista suficiente para interação. À medida que avança em direção aos estuários, as forçantes gravitacionais começam a atuar mais intensamente. Em baías e estuários, as marés apresentam maiores amplitudes comparadas às obtidas na plataforma adjacente.

A onda de maré, gerada pela atração do Sol e da Lua, produz na região oscilações do tipo semidiurna (**Figura 5**), com duas marés baixas e duas marés altas com amplitudes diferentes por dia. Em períodos de maré sizígia a amplitude de maré é de aproximadamente 1 metro, já em quadratura fica em 0,3 metros, classificando a maré da região como sendo micromaré.

Figura 5: Diferentes tipos de maré. Fonte: Lentini, 2007 apud RODRIGUES, 2012.

4. MODELAGEM AMBIENTAL

A utilização de modelos numéricos com o intuito de avaliarem a hidrodinâmica e a dispersão de poluentes tem crescido muito nos últimos anos (HOLMAN *et al.*, 2014; JIAN *et al.*, 2014; SUGAWARA *et al.*, 2014; TROOST *et al.*, 2014). Atualmente tal ferramenta é essencial para entendimento e reprodução dos processos de mistura da pluma de esgoto no corpo receptor, bem como diagnosticar possíveis impactos ambientais gerados.

Para que seja possível entender a complexidade e dinâmica da dispersão de plumas, especialmente, de emissários submarinos, é necessário identificar as zonas de mistura formadas durante a dispersão e diluição do efluente lançado com pressão. Os estudos de BLENINGER & JIRKA (2004), LAMPARELLI & ORTIZ (2007), ZHAO *et al.* (2011) e MORELISSEN *et al.* (2013) fornecem indicações sobre o assunto.

4.1 Processos de Mistura de Efluentes Lançados com Pressão

Quando um efluente é lançado em um corpo de água por meio de jato, como no caso de emissários submarinos e rios, o seu comportamento varia dependendo das forçantes que estão agindo sobre ele. Podem-se dividir os processos de mistura do efluente no corpo receptor em três zonas (**Figura 6**).

Figura 6: Representação dos processos de mistura em ambiente marinho estratificado. Na parte inferior escalas temporais e espaciais, e os principais fenômenos envolvidos. Fonte: Modificado de SUBTIL, 2012; BROOKS, 1984; E BLENINGER, 2006.

Pegando como exemplo o caso dos emissários submarino. Podemos dizer que a zona inicial de mistura é chamada de campo próximo (“near-field”), região onde o efluente penetra no corpo de água na forma de jato, sendo a trajetória e as misturas governadas pela velocidade de injeção, pelo empuxo e pela geometria do emissário submarino (difusores). As características dos difusores podem afetar diretamente a mistura inicial no campo próximo (HILLERBRAND, 2003). A influência dos processos físicos do campo próximo decresce conforme o efluente se afasta do ponto de lançamento. A partir dessa região, o efluente comporta-se como uma pluma.

A dispersão da pluma é controlada pela advecção (correntes no corpo d’água) e pela difusão (turbulência do corpo de água). Esta zona é classificada como campo distante (“far-field”). A diluição nesta região é muito menor que a do campo próximo.

Entre essas duas regiões existe uma região de estabilização chamada campo intermediário.

4.2 Modelos Numéricos para Simular as Zonas de Mistura de Efluentes Lançados com Pressão

Utilizando modelos computacionais, é possível simular e prever impactos ambientais para ambos os domínios vizinhos da descarga: campo próximo e campo distante. Os modelos de campo próximo são utilizados para simular os processos de mistura na região inicial do lançamento. Já os modelos de campo distante são usados para descrever a dispersão de plumas de efluentes em áreas costeiras e estuarinas (HILLERBRAND, 2003).

Atualmente, os modelos normalmente utilizados para estudar os campos próximos dos emissários são o CORMIX (cornell mixing zone), CORJET (Cornell Buoyant Jet Integral Model), PLUMES (visual plumes model) e JETLAG (Lagrangean

Jet Model)). O CORMIX é o mais conhecido, sendo recomendado pela U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), porém os custos para utilização são levados. Já o PLUMES tem sua distribuição gratuita e apresentou resultados tão bons ou até melhores que CORMIX, segundo ROBERTS & TIAN (2004).

As simulações de campo afastado são utilizados como ferramenta para entendimento dos processos de dispersão de diversos tipos objetos, como nos trabalhos de simulações de plumas de esgotos lançadas por emissários submarinos (VILLEGAS & ROBERTS, 2011), de dispersão de manchas de óleo (Bi & Si, 2012), do transporte de sedimentos (SUGAWARA *et al.*, 2014) e do crescimento do fitoplâncton (JIAN *et al.*, 2014).

5. METODOLOGIA

5.1 Resgate de Dados Pretéritos

A SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), empresa de capital misto, responsável pelo fornecimento de água tratada e coleta e tratamento de esgotos do Estado de São Paulo, realizou monitoramentos na região no ano de 2012. Amostras de água foram analisadas avaliando a qualidade dos afluentes e efluentes da Estação de Pré-condicionamento de Vila Zilda, e da qualidade da água do mar e dos sedimentos na zona de disposição final do Emissário Submarino do Guarujá, bem como dos canais artificiais localizados na praia da Enseada. Esse trabalho teve duração de 12 meses, produzindo muitas informações sobre diversos parâmetros orgânicos e inorgânicos, como valores de coliformes totais, termotolerantes, enterococos e outros. A **Figura 7** apresenta os pontos de monitoramento da SABESP próximo ao emissário, bem como os canais artificiais que alcançam as praias. Foram obtidos apenas os relatórios de outubro/2011 e janeiro/2012 desse estudo.

Figura 7: Pontos de monitoramento da SABESP próximo ao emissário (M1, M2, etc) e os córregos que chegam à praia (C1, C2, etc). Fonte: SABESP (2012).

Estudos realizados pela CETESB também foram resgatados pelo presente estudo. A agência publica anualmente relatórios com dados da qualidade balnear das praias e corpos hídricos adjacentes. Foram resgatados os relatórios de 2008 a 2012.

5.2 Informações Meteorológicas

Dados meteorológicos produzidos pelas reanálises do modelo atmosférico global do National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP / NCAR) (KALNAY et al., 1996) foram usados para monitoramento e análise das condições meteorológicas na região costeira do Guarujá, cuja climatologia pode ser encontrada em HARARI, FRANÇA & CAMARGO (2008). Apesar de

algumas séries meteorológicas observadas serem disponíveis na região costeira do Estado de São Paulo, os dados produzidos pelo NCEP / NCAR são muito adequados para monitoramento e análises, devido à homogeneidade, qualidade e número de variáveis, além do fato do modelo incorporar observações atmosféricas nas reanálises (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml>). Dados ao nível da superfície para ano de 2012 foram considerados, em intervalos de 6 horas, interpolados para a posição do Emissário Submarino do Guarujá, em 24,0285° S 046,2233° W, considerando que a resolução de grade é de 2,5° x 2,5°.

As séries foram inicialmente representadas em forma gráfica e a seguir foram submetidas a uma análise estatística, para a obtenção dos parâmetros de média, desvio padrão, mediana, mínimo, máximo, assimetria e curtose.

Na análise das condições meteorológicas, foram também considerados os acompanhamentos da evolução de frentes frias ao longo da costa brasileira, produzidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC / INPE).

5.3 Fontes de Contaminação Consideradas no Estudo

5.3.1 Emissário Submarino do Guarujá

O Emissário Submarino do Guarujá, localizado na Praia da Enseada, possui uma extensão de 4.500 metros e diâmetro de 0,9 metros. Nos últimos 300 metros de sua extensão, encontram-se 150 difusores dispostos em pares, ou seja, distribuídos em duplas, de 4 em 4 metros. O lançamento do efluente proveniente da EPC Vila Zilda ocorre na Enseada do Guarujá a 14 metros de profundidade. A vazão máxima do emissário submarino é de 1,45 m³/s segundo LAMPARELLI & ORTIZ (2007).

O estudo considerou nas simulações concentração de enterococos de 469.500 UFC/100 ml, e os volumes lançados variaram segundo o mês simulado.

5.3.2 Canais Artificiais

SABESP (2012) obteve valores de coliformes para os sete canais artificiais no relatório de janeiro/2012. Durante o período simulado, os lançamentos oriundos dos canais só ocorreram durante precipitações. Os dados pluviométricos foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As concentração de lançamentos utilizadas nas simulações dos canais 1 a 7 foram de 5.400, 9.200, 16.000, 3.500, 9.200, 16.000 e 16.000 UFC/100 ml enterococos, respectivamente.

5.3.3 Rios da Praia do Perequê

CETESB (2012) coletou e analisou duas amostras de cada rio, obtendo valores de coliformes termotolerantes. Os valores utilizados nas simulações foram as médias das duas coletas de cada rio, após conversão do indicador para enterococos, reduzindo assim em uma ordem de grandeza a concentração. Já as vazões dos rios foram estimadas, variando mensalmente. Dados de vazões de rios de características semelhantes foram utilizados no caso de falta de informações sobre descargas fluviais.

5.4 Modelagem Numérica

As simulações numéricas hidrodinâmicas e de dispersão de esgoto utilizadas no presente estudo, para avaliação dos efeitos dos lançamentos de esgotos no ambiente, utilizaram os sistemas de modelagem ambiental DELFT3D, que possui módulos para a hidrodinâmica (FLOW) e qualidade da água (WAQ), e o Visual Plumes, que calcula a geometria da pluma (campo próximo).

O módulo Delft3D-FLOW resolve as equações da água rasa e do transporte de propriedades em duas dimensões (2D, verticalmente integrado) ou em três dimensões

(3D). O sistema de equações consiste das equações de movimento (na horizontal), equação da continuidade, equação do transporte para propriedades e constituintes conservativos (incluindo calor e sal), equação do estado da água do mar e modelo de fechamento turbulento. O fluxo é forçado pelas marés e variações do nível médio do mar nas fronteiras abertas, a fricção do vento na superfície livre e gradientes de pressão, sendo estes devidos aos gradientes de pressão atmosférica (barotrópicos), gradientes de superfície livre (barotrópicos) ou gradientes de densidade (baroclínicos). Termos fonte e sorvedouros são incluídos nas equações, para modelar a entrada e a retirada de água (por descargas fluviais, evaporação e precipitação). Efeitos de trocas de calor e radiação na superfície são considerados, bem como interações ondas - correntes. A modelagem também considera a possibilidade de inundação e exposição do fundo (em áreas costeiras baixas, como planícies de maré) (DELFT3D, 2011).

O módulo Delft3D-WAQ resolve as equações de advecção-difusão-reação em uma, duas e três dimensões (1D, 2D e 3D) para uma série ampla de substâncias: substâncias conservativas, substâncias com decaimento, sólidos suspensos, temperatura, nutrientes, oxigênio dissolvido, DBO e DQO, algas, bactérias, metal pesado, micro poluentes orgânicos. Permite também especificar uma série de processos físicos, bioquímicos e biológicos, como: sedimentação e ressuspensão, reaeração de oxigênio, crescimento e mortalidade de algas, mineralização de substâncias orgânicas, nitrificação e denitrificação, adsorção de metal pesado e volatilização de micro poluentes orgânicos (DELFT3D, 2013).

O Visual Plumes é formado por conjuntos de modelos de zona de mistura. Ele permite a simulação de plumas em ambientes com hidrodinâmica e gradientes de temperatura e salinidade. Os modelos inclusos são: DKHW baseado em UDKHDEN (Muellenhoff et al, 1985), PDS (Davis, 1999) , UM3 baseado em UM, e o NRFIELD

baseado em RSB. Os modelos podem ser executados consecutivamente e comparados graficamente para ajudar na verificação de seus desempenhos. O campo distante pode ser estimado utilizando as equações de Brooks, que simula o comportamento da pluma.

No caso de simulação de patogênicos, como coliformes fecais, os modelos permitem incluir valores de background, como também calculam reprodução e morte do indicador (decaimento). O decaimento refere-se à mortalidade dos coliformes devido à temperatura, salinidade e radiação solar penetrando na coluna de água.

Séries temporais podem ser inseridas nos modelos, possibilitando simulações do emissário por longos períodos de tempo com variação dos parâmetros.

5.4.1 Forçantes Hidrodinâmicas

As ondas de maré nos contornos abertos da grade foram especificadas a partir de interpolações das constantes harmônicas das principais componentes de maré, fornecidas pelo modelo global TPXO de EGBERT & EROFEEVA (2002).

Os valores de direção e intensidade de ventos foram obtidos do modelo atmosférico NCEP / NCAR. As informações de vento atuam sobre toda a grade, gerando campos de correntes que são muito influenciadas pelo vento.

As influências dos rios são essenciais em simulação matemática de regiões costeiras, principalmente em regiões estuarinas. Para assegurar a qualidade das simulações foi adicionado na grade do modelo um total de 69 rios. As suas localizações de forma esquemática estão apresentadas na **Figura 8**. As vazões médias estão no **Anexo I**.

Canais artificiais também foram considerados na orla da praia da Enseada. Suas vazões foram apenas estimadas, devido à falta de informações.

Figura 8: Localização esquemática dos 69 rios utilizados nas simulações hidrodinâmicas. Fonte: Modificado de DHI (2008).

Os campos de densidade foram formados com dados de modelo de plataforma. Os dados foram inseridos nos contornos, e o modelo hidrodinâmico foi aquecido por 120 dias, criando condições iniciais realísticas para a região. A **Figura 9** apresenta as condições iniciais de salinidade, temperatura e densidade.

Figura 9: Condições iniciais do modelo referentes a: 1) Salinidade; 2) Temperatura; e 3) Densidade.

5.4.2 Dispersão de Esgoto

Simulações de dispersão de esgoto foram realizadas, utilizando dois modelos, um para o campo próximo e outro para o campo distante.

O campo próximo foi simulado utilizando o modulo UM3 do modelo Visual Plumes, que calcula dispersão levando em consideração condições oceanográficas e as características do emissário submarino, como suas dimensões, número de difusores e

ângulo de lançamento. As vazões utilizadas foram estimadas utilizando o número de habitantes. Os valores são apresentados na **Tabela 3**, com os números de habitantes considerados. A concentração de enterococos utilizada foi o valor obtido no relatório de janeiro de SABESP (2012), aumentado em uma ordem. Esse aumento foi necessário para calibração do modelo, ao comparar com dados coletados.

Tabela 3: Vazões estimadas em função do número de habitantes. Foi considerada uma produção de esgotos diária de 200 litros por pessoa. Os volumes lançados pelo ESG correspondem a dois quintos do total.

Meses	Nº Habitantes	Vazão Total (m3/s)	Vazão Coletada (m3/s)	Vazão ESG (m3/s)
Jan/12	1.200.000	2,778	2,000	1,300
Fev/12	918.360	2,126	1,531	0,995
Mar/12	714.468	1,654	1,191	0,774
Abr/12	306.683	0,710	0,511	0,332
Mai/12	306.683	0,710	0,511	0,332
Jun/12	306.683	0,710	0,511	0,332
Jul/12	306.683	0,710	0,511	0,332
Ago/12	306.683	0,710	0,511	0,332
Set/12	306.683	0,710	0,511	0,332
Out/12	714.468	1,654	1,191	0,774
Nov/12	918.360	2,126	1,531	0,995
Dez/12	1.200.000	2,778	2,000	1,300

O campo distante foi modelado utilizando o modelo Delft3D-WAQ que, foi alimentado pelos modelos Delft3D-FLOW (hidrodinâmica) e Visual Plumes (UM3), sendo que este simulou a dispersão da pluma de esgoto (campo próximo).

O decaimento do indicador biológico, chamado de decaimento bacteriano, corresponde ao tempo para desaparecimento de 90% do número de bactérias lançadas, simulando os mecanismos de morte do indicador. O cálculo do decaimento foi através do Visual Plumes, utilizando valores de temperatura e salinidade do efluente, obtidos em SABESP (2012), e do ambiente fornecidos pelo modelo hidrodinâmico. Valores de radiação solar foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

5.4.3 Validação

A verificação da qualidade dos resultados fornecidos pela modelagem numérica foi realizada comparando os resultados modelados com valores analíticos para hidrodinâmica, e dados do indicador de esgoto coletados em campo por SABESP (1012) e por CETESB (2012), para a dispersão de esgoto. Os valores foram comparados utilizando os seguintes métodos estatísticos: média, desvio-padrão, correlação, erro absoluto médio, erro absoluto relativo e skill.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise das Condições Ambientais – Dados Pretéritos

6.1.1 Praias do Guarujá

Informações sobre contaminação das águas das praias do município de Guarujá, por esgotos domésticos, para os anos de 2008 a 2012, foram resgatadas de relatórios anuais publicados pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), que contém informações sobre concentração de indicadores biológicos, para presença de esgoto na água, e indicação da qualidade das praias segundo critérios presentes na Resolução do CONAMA N° 274/2000.

6.1.1.1 Valores de Enterococos

A Resolução define limite de 100 UFC (unidade formadora de colônias) do indicador biológico enterococos em 100 mL de água. Assim, valores superiores a esse limite indicam qualidade imprópria para práticas recreativas de contato primário no corpo hídrico.

Nos cinco anos analisados, 2008 a 2012, valores superiores ao limite descrito na Resolução foram encontrados em todos os anos, e em todas as praias. As concentrações

de enterococos oscilaram muito, com valores partindo de 1 até 55.000 UFC/100 mL. Esse máximo observado foi coletado nas águas da praia do Perequê, no mês de novembro de 2011. Nos outros anos a praia do Perequê também apresentou qualidade ruim, com concentrações máximas no ano sempre superiores a 1.100 UFC/100 mL, e médias anuais superiores a 127 UFC/100 mL. Essa praia apresentou piora nesses cinco anos analisados, saltando de 30% das amostras coletadas em 2008 com qualidade imprópria, para 79% e 72% nos anos de 2011 e 2012, respectivamente. Essa tendência de piora foi observada em todas as praias, considerando a frequência de amostras com valores impróprios. Na **Tabela 4** encontram-se valores máximos, médios e frequência de amostras com qualidade imprópria para os anos analisados.

Na **Tabela 5** são apresentados resultados médios por mês para cada ano. Os valores demonstram uma tendência de piora principalmente nos meses de primavera e verão. Porém valores impróprios também foram observados nos meses de outono e inverno. Meses de junho e agosto não apresentaram valores médios impróprios, porém tiveram coletas com qualidade imprópria.

Os valores de enterococos coletados oscilaram muito, indicando presença intermitente do esgoto nas águas. Isso deve-se ao dinâmico processo de dispersão da pluma no corpo hídrico, influenciado pelo tipo de fonte e pelas variáveis ambientais. Como resultado, a qualidade da praia tende a retornar para própria após certo tempo. Porém, na praia do Perequê, a atuação da fonte torna-se quase constante, especialmente nos dois últimos anos, 2011 e 2012, indicando interferência crônica por esgoto na qualidade da água. As oscilações também estão associadas aos instantes de coleta. Dependendo do instante coletado, as amostras podem apresentar maiores ou menores concentrações. Isso porque o processo de depuração do esgoto é muito dinâmico, alterando as concentrações do indicador biológico na água em escala de horas. Esse

dinamismo é devido à influência da radiação solar, temperatura e salinidade, especialmente a radiação solar.

A Resolução do CONAMA N° 274/2000 apresenta método de classificação de praias, com objetivo de avaliar a evolução da praia, minimizando os efeitos das oscilações de curto prazo, como as de fontes intermitentes e instantes de coleta. O método considera as cinco últimas coletas para classificação da qualidade das águas das praias. No caso do indicador enterococos, a praia é classificada como imprópria se duas ou mais amostras tiverem valores superiores a 100 UFC/100 mL, ou a última coleta com valor superior a 400 UFC/100 mL. Caso contrário, a praia é classificada como própria.

Tabela 4: Valores de unidade formadora de colônia de enterococos por 100 mL de água para os anos de 2008 a 2012. Apresentados valores máximos, médios e frequência de valores impróprios segundo Resolução do CONAMA N° 274/2000. As células grifadas indicam que o valor ultrapassou o limite máximo indicado pela Resolução do CONAMA.

Enterococos (UFC/100mL)	2008			2009			2010			2011			2012		
	Máximo	Média	Freq. Impr.	Máximo	Média	Freq. Impr.	Máximo	Média	Freq. Impr.	Máximo	Média	Freq. Impr.	Máximo	Média	Freq. Impr.
Perequê	1.700	368	30%	1.100	127	38%	1.300	375	63%	55.000	2.062	79%	4.000	503	72%
Pernambuco	700	53	2%	212	29	6%	252	24	4%	1.120	58	10%	1.100	65	15%
Enseada – Estrada Pernambuco	880	65	4%	1.640	88	19%	268	27	6%	1.280	87	12%	1.760	98	19%
Enseada – Av. Atlântica	760	78	6%	192	39	13%	252	34	6%	1.240	85	19%	780	69	15%
Enseada – Rua Chile	1.140	84	4%	1.120	92	21%	264	39	6%	680	74	23%	840	74	23%
Enseada – Av. Santa Maria	1.040	75	6%	700	62	17%	264	32	2%	980	56	13%	1.380	72	15%
Pitangueiras – Av. Puglisi	460	55	4%	920	75	19%	148	21	2%	264	37	12%	380	36	11%
Pitangueiras – Rua Silvia Valadão	700	53	4%	1.040	60	10%	152	28	4%	1.201	55	10%	1.260	65	15%
Astúrias	460	48	4%	212	16	6%	224	35	10%	260	39	10%	580	69	19%
Tombo	820	57	4%	328	23	6%	144	22	4%	184	18	4%	340	32	9%
Guaiúba	980	66	4%	180	12	2%	216	22	4%	232	36	8%	300	38	9%

Tabela 5: Valores médios de unidade formadora de colônia de enterococos por 100 mL de água para os anos de 2008 a 2012. As células grifadas indicam que o valor ultrapassou o limite máximo indicado pela Resolução do CONAMA N° 274/2000.

Valores Médios de Enterococos (Ufc/100MI)												
Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2008	318	50	34	36	49	92	12	75	150	211	26	17
2009	93	58	18	22	16	33	117	31	26	26	105	149
2010	76	46	50	35	91	33	49	72	69	60	58	64
2011	540	21	212	120	43	78	58	91	54	174	1298	187
2012	72	133	52	146	126	92	233	39	28	37	42	185

6.1.1.2 Análise do Método – CONAMA N° 274/2000

Utilizando o método descrito na Resolução, as praias foram classificadas pela CETESB como próprias e impróprias. Na **Tabela 6** são apresentadas porcentagens de tempo que as praias permaneceram classificadas como impróprias para banho de mar. A praia do Perequê apresentou, em todos os anos, classificação imprópria, variando entre 92% e 100%. A porcentagem máxima foi alcançada nos anos de 2009 e 2012. Já os pontos localizados na praia da Enseada não apresentaram classificação imprópria no ano de 2010, com exceção do ponto Enseada – Estrada Pernambuco. Nos outros anos variaram entre 2% e 35%. Na Praia de Pernambuco, os valores oscilaram entre 0% (2010) e 30% (2008). Pontos localizados na Praia de Pitangueiras não apresentaram má qualidade em 2009 e 2010; já nos outros anos apresentou valores entre 2% e 32%. A Praia de Astúrias, em 2009, não apresentou classificação imprópria. Esse ótimo resultado também foi obtido nos pontos Tombo e Guaiúba para os anos de 2010 e 2011.

Tabela 6: Porcentagem dos períodos com bandeira informando qualidade imprópria para recreação de contato primário.

Classificação das praias CONAMA N° 274/2000	Frequência Classificação como Imprópria				
	2008	2009	2010	2011	2012
Perequê	92%	100%	98%	96%	100%
Pernambuco	30%	2%	0%	3%	15%
Enseada – Estrada Pernambuco	34%	2%	5%	5%	28%
Enseada – Av. Atlântica	35%	2%	0%	25%	23%
Enseada – Rua Chile	35%	10%	0%	28%	35%
Enseada – Av. Santa Maria	33%	2%	0%	4%	22%
Pitangueiras – Av. Puglisi	32%	0%	0%	2%	13%
Pitangueiras – Rua Silvia Valadão	27%	0%	0%	4%	28%
Astúrias	30%	0%	9%	0%	27%
Tombo	37%	2%	0%	0%	7%
Guaiúba	33%	2%	0%	0%	6%

As praias apresentaram evolução positiva até ano de 2010, alcançando-se excelentes resultados para maioria delas. Porém, a partir desse ano as condições de balneabilidade apresentam tendência de piora. A Praia do Perequê foi à única que não mudou evolução,

permanecendo com péssima qualidade. Os programas da SABESP Onda Limpa e Canal Limpo podem ter ajudado na melhoria da qualidade entre os anos de 2008 e 2010, porém, a perda de qualidade deixa dúvidas sobre a eficácia dos programas de melhoria frente ao crescimento da população.

Também é importante observarmos as limitações do método utilizado para classificação, descrito na CONAMA Nº 274/2000. Ao considerar as cinco últimas coletas, os resultados podem ser mascarados, não representar a situação do momento, ou seja, classificando a praia como própria quando não está, gerando risco aos banhistas, ou classificando imprópria quando está própria.

Sartor & Degaspari (2000) avaliaram essa diferença entre a classificação da praia e a situação do momento da coleta para a região de Santos, obtendo divergências que chegaram a 50% dos casos.

Na **Figura 10** e na **Tabela 7** são apresentados resultados da comparação entre a classificação e o valor aferido para as praias do Guarujá. Na figura, a cor azul corresponde à porcentagem de concordâncias, e em vermelho e em verde as discrepâncias. Vermelho é quando a classificação está como própria e o valor aferido estava indicando má qualidade. Já a cor verde indica que a praia estava classificada como imprópria quando estava própria. Considerando a média de todas as praias, a menor discrepância ocorreu no ano de 2010, com 7,3%. Já no ano de 2008, com o pior resultado, valores chegaram a 26,6%, sendo 5,3% proporcionando risco à população, e 21,3% proporcionando prejuízos à economia local que depende do turismo. Já considerando a média dos anos para cada praia, os resultados possibilitam identificação dos pontos Perequê e Enseada (Rua Chile) como os que mais tiveram valores discrepantes, chegando a 33% e 22% respectivamente.

As discrepâncias médias, tanto por ano como por praia, não foram muito significativas, ficando com uma porcentagem de acertos superior a 80% em todas as médias, com exceção da média da Praia do Perequê, que ficou em 67%. Entretanto, ao consideramos a comparação por mês, pegando os máximos, encontram-se valores de discrepância 100% em alguns meses. Deixando a entender que a discrepância pode durar todo o mês, e dúvidas sobre a confiabilidade para uso como indicador diário aos banhistas – em tempo real.

Figura 10: Comparação entre valores medidos e classificação das praias para cada ano.

Tabela 7: Resultados máximos da comparação de valores medidos e classificação das praias por mês.

Comparação entre Valor Medido e Classificação (Máximos)	Acerto	Erro	
		Risco Saúde	Prejuízo Econômico
PEREQUÊ	100%	0%	100%
PERNAMBUCO	100%	25%	80%
ENSEADA(ESTR.DEPERNAMBUCO)	100%	50%	80%
ENSEADA(AVATLÂNTICA)	100%	40%	100%
ENSEADA(RCHILE)	100%	75%	100%
ENSEADA(AV.SANTAMARIA)	100%	50%	100%
PITANGUEIRAS(AVPUGLISI)	100%	75%	100%
PITANGUEIRAS(RSILVIAVALADÃO)	100%	25%	100%
ASTÚRIAS	100%	25%	100%
TOMBO	100%	25%	100%
GUAIÚBA	100%	25%	100%

6.1.2 Canais Artificiais e Rios

Nas **Tabelas 8 e 9** são apresentados valores medidos pela CETESB e divulgados em seus relatórios anuais do indicador de esgoto. Por se tratar de canais de água doce, o indicador utilizado é Coliformes Termotolerantes, tendo como limite o valor de 1.000 NMP/100 mL, e limite máximo de 2.500 NMP/100 mL.

Essa análise considerou canais localizados nas praias de Perequê e Enseada, que totalizam 18 canais. A maior concentração foi encontrada no canal localizado no meio da praia do Perequê, com 360.000 coliformes (NMP/100 ml). As demais amostras também apresentaram valores elevados, na ordem de 10^4 e 10^5 ; ordem de grandeza comparável com valores encontrados na saída de emissários submarinos.

Em alguns casos os canais estavam secos no momento da amostragem, tornando-se potenciais fontes de contaminação em período de chuvas. Nesses períodos, os esgotos acumulados chegam à praia de uma só vez, acabando com a qualidade da praia. A concentração de esgoto no canal tende a se reduzir consideravelmente após os primeiros minutos de chuvas.

Tabela 8: Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) nos rios da Praia do Perequê. As células grifadas indicam que o valor ultrapassou o limite máximo indicado pela Resolução do CONAMA N° 274/2000.

Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)		S/N - 200m DO EXTREMO NORTE - JUNTO AO CAMPING	S/N - FRENTE N. 1277 - MEIO DA PRAIA	RIO PEREQUÊ
2010	AMOST. 1	560	Seco	230.000
	AMOST. 2	52.000	360.000	250.000
2011	AMOST. 1	320.000	260.000	52.000
	AMOST. 2	36.000	45.000	16.000
2012	AMOST. 1	30.000	53.000	420
	AMOST. 2	99.000	250.000	37.000
2008	AMOST. 1	20.000	15.000	4.200
	AMOST. 2	6.400	5.500	1.020
2009	AMOST. 1	57.000	38.000	46.000
	AMOST. 2	1.040	18.000	19.000

Tabela 9: Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) nos canais artificiais da Praia da Enseada. As células grifadas indicam que o valor ultrapassou o limite máximo indicado pela Resolução do CONAMA N° 274/2000.

Coliformes Temotolerantes (NMP/100mL)	2008		2009		2010		2011		2012	
	AMOST. 1	AMOST. 2	AMOST. 1	AMOST. 2	AMOST. 1	AMOST. 2	AMOST. 1	AMOST. 2	AMOST. 1	AMOST. 2
E/ FR. AO CONJUNTO TORTUGA	360	4.600	32.000	680	seco	420	160.000	300	5.800	1.240
AV. MIGUEL STÉFANO N.5165	31.000	6.600	44.000	480	35.000	640	310.000	520	19.000	200
ENSEADA - E/F A ESTRADA DE BERTIOGA	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	46.000	Seco	Seco	4.300
AV. MIGUEL STÉFANO / R. IRACEMA	Seco	Seco	Seco	Seco	24.000	seco	59.000	31.000	Seco	2.400
AV. MIGUEL STÉFANO / R. ACRE	13.000	5.100	55.000	5.000	55.000	25.000	62.000	Seco	15.000	69.000
AV. MIGUEL STÉFANO N.3335 / R. LEONOR DA S. QUADROS	32.000	20.000	48.000	5.600	Seco	29.000	170.000	Seco	35.000	17.000
AV. MIGUEL STÉFANO / AV. ATLÂNTICA	10.000	4.800	320.000	2.300	36.000	50.000	130.000	17.000	35.000	3.000
AV. MIGUEL STÉFANO N. 2467 / AV. GUADALAJARA	7.200	5.500	280.000	5.100	21.000	16.000	43.000	15.000	2.700	200
AV. MIGUEL STEFANO N. 2309 / AV. SALIM FARAH MALUF	18.000	32.000	54.000	5.300	63.000	25.000	58.000	20.000	58.000	72.000
AV. MIGUEL STEFANO / R.CHILE	3.300	3.500	47.000	1.000	52.000	15.000	190.000	Seco	67.000	3.500
AV. MIGUEL STEFANO N. 1667 / POSTO SALVAMENTO 8	28.000	1.800	52.000	6.000	56.000	2.500	230.000	58.000	4.000	1.000
AV. MIGUEL STEFANO N. 1357	Seco	184	184	720	Seco	Seco	560.000	Seco	Seco	Seco
AV. MIGUEL STEFANO N. 647	10.000	5.400	260.000	640	38.000	1.240	320.000	Seco	69.000	31.000
AV. MIGUEL STEFANO N. 97	17.000	6.200	56.000	2.100	51.000	4.200	Seco	53.000	72.000	8.400
JUNTO AO MORRO DO MALUF	20.000	4.600	21.000	6.400	55.000	2.800	55.000	600	57.000	780

6.1.3 Emissário Submarino do Guarujá

Nas **Tabelas 10 a 13** encontram-se os valores medidos pela SABESP em duas campanhas realizadas em 17/10/2011 e 16/01/2012, coletando amostras para identificação das concentrações de Enterococos (UFC/100 mL), oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio amoniacal e carbono orgânico total. Foram coletados 13 pontos na região de lançamento do Emissário Submarino do Guarujá, como demonstra a **Figura 11**. Em cada ponto foram coletadas amostras em superfície, meia água e fundo, totalizando 39 amostras para cada parâmetro.

Na primeira campanha os valores dos parâmetros ficaram abaixo dos limites estabelecidos pelas Resoluções do CONAMA nº 274/2000 e nº 357/2005, com exceção do ponto EM07, que apresentou 470 UFC/100 mL de enterococos e 0,102 mg/L de fósforo total na camada de fundo. A Resolução dispõe como limite de concentração de fósforo total em águas salinas classe 1 em 0,062 mg/L. Na segunda campanha, amostras com valores superiores aos limites foram coletadas nos pontos EM5, de meia água e de fundo, e EM7 de superfície, com valores superiores a 470 UFC/100 mL. Oxigênio dissolvido apresentou sete amostras com concentração abaixo de 6 mg/L na camada de fundo (EM01, EM04, EM07, EM08, EM10, EM12 e EM13), com valor mínimo encontrado de 3,55 mg/L. Amostras de fósforo total de superfície no ponto EM3, de meia água do EM10 e de fundo dos pontos EM12 e EM13 ultrapassaram o limite máximo de 0,062 mg/L, com valor máximo de 0,147 mg/L no ponto EM03. Amostras de carbono orgânico total na camada de superfície EM07, e de fundo EM06 e EM08 ultrapassaram o máximo de 3 mg/L, chegando em 3,4 mg/L no ponto EM07. Nitrogênio amoniacal não apresentou valores superiores ao limite em nenhuma das campanhas.

Tabela 10: Valores coletados por SABESP em 17/10/2011 na região do Emissário Submarino do Guarujá. As células grifadas indicam que o valor ultrapassou o limite máximo indicado pela Resolução do CONAMA (Nº 274/2000 e Nº 357/2005).

17/10/2011		EM01	EM02	EM03	EM04	EM05	EM06	EM07
Enterococos Totais (UFC/100mL)	Superfície	3	1	1	21	17	1	1
	Meio	1	1	47	48	45	1	1
	Fundo	9	81	2	9	14	4	470
OD (mg/L)	Superfície	7,7	8,1	8,3	8,6	9	9,3	9,1
	Meio	8	8,1	8,2	8,4	8	9,1	8,8
	Fundo	8	8,4	7,8	7,1	7,4	7,1	6,5
Fósforo Total (mg P/L)	Superfície	0,047	0,037	0,039	0,033	0,025	0,027	0,03
	Meio	0,037	0,04	0,035	0,029	0,042	0,029	0,029
	Fundo	0,043	0,034	0,04	0,043	0,04	0,038	0,102
Nitrogênio Amoniacal - NH4+ (mg N/L)	Superfície	0,08	0,06	0,032	0,077	0,024	0,075	0,086
	Meio	0,015	0,074	0,028	0,067	0,038	0,123	0,075
	Fundo	0,027	0,045	0,009	0,049	0,07	0,037	0,173
Carbono Orgânico Total (mg C/L)	Superfície	1,5	1,7	1,6	1,4	1,4	1,5	1,6
	Meio	1,5	1,5	1,7	1,5	1,5	1,6	1,5
	Fundo	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1,9

Tabela 11: Valores coletados por SABESP em 17/10/2011 na região do Emissário Submarino do Guarujá (continuação).

17/10/2011		EM08	EM09	EM10	EM11	EM12	EM13
Enterococos Totais (UFC/100mL)	Superfície	1	1	1	1	1	1
	Meio	1	1	1	22	1	4
	Fundo	13	6	7	26	5	1
OD (mg/L)	Superfície	9,6	9,6	9,5	9,4	9,1	9,2
	Meio	9,7	9,4	9,4	9,2	9,5	8,7
	Fundo	8,8	8	8	9,1	7,9	6,8
Fósforo Total (mg P/L)	Superfície	0,02	0,029	0,037	0,03	0,035	0,029
	Meio	0,03	0,029	0,028	0,035	0,038	0,031
	Fundo	0,032	0,032	0,032	0,045	0,03	0,034
Nitrogênio Amoniacal - NH4+ (mg N/L)	Superfície	0,09	0,053	0,075	0,015	0,026	0,018
	Meio	0,071	0,033	ND	0,081	0,013	0,031
	Fundo	0,029	0,083	0,056	0,048	0,04	0,034
Carbono Orgânico Total (mg C/L)	Superfície	1,6	1,5	1,8	1,7	1,5	1,5
	Meio	2,2	1,5	1,7	2,3	1,5	1,4
	Fundo	1,7	1,6	1,5	1,6	1,4	2,7

Tabela 12: Valores coletados por SABESP em 16/01/2012 na região do Emissário Submarino do Guarujá.

16/01/2012		EM01	EM02	EM03	EM04	EM05	EM06	EM07
Enterococos Totais (UFC/100mL)	Superfície	ND	47	ND	ND	ND	ND	>470
	Meio	8	ND	3	1	>470	ND	4
	Fundo	6	65	11	3	>470	ND	5
OD (mg/L)	Superfície	11,36	10,29	10,11	9,82	10,7	9,41	9,74
	Meio	7,96	9,08	9,54	6,62	9,38	8,62	7,96
	Fundo	4,97	6,32	6,68	3,55	7,3	6,42	5,56
Fósforo Total (mg P/L)	Superfície	0,031	0,053	0,147	0,032	0,029	0,015	0,05
	Meio	0,019	0,037	0,025	0,027	0,04	0,077	0,04
	Fundo	0,048	0,052	0,045	0,039	0,014	0,048	0,031
Nitrogênio Amoniacal - NH4+ (mg N/L)	Superfície	ND	0,019	0,009	0,022	0,033	0,021	0,023
	Meio	0,03	0,009	0,01	0,03	0,113	0,042	0,04
	Fundo	0,049	0,015	0,032	0,056	0,06	0,074	0,028
Carbono Orgânico Total (mg C/L)	Superfície	2,3	2,9	2,2	2,1	2,1	2,5	3,4
	Meio	1,8	2	1,8	1,8	2,3	3,2	2,6
	Fundo	1,4	2,3	1,4	1,6	1,8	2,7	1,7

Tabela 13: Valores coletados por SABESP em 16/01/2012 na região do Emissário Submarino do Guarujá (continua).

16/01/2012		EM08	EM09	EM10	EM11	EM12	EM13
Enterococos Totais (UFC/100mL)	Superfície	82	ND	2	16	3	58
	Meio	62	ND	ND	ND	47	25
	Fundo	56	ND	3	18	20	ND
OD (mg/L)	Superfície	9,79	8,77	8,34	NA	8,44	7,12
	Meio	7,41	8,23	6,91	8,28	7,53	6,57
	Fundo	4,17	6,38	5,57	6,08	5,07	4,72
Fósforo Total (mg P/L)	Superfície	0,03	0,03	0,024	0,028	0,061	0,006
	Meio	0,043	0,028	0,074	0,028	0,025	0,041
	Fundo	0,056	0,039	0,051	0,032	0,073	0,079
Nitrogênio Amoniacal - NH4+ (mg N/L)	Superfície	0,024	0,028	0,075	ND	0,016	0,01
	Meio	0,025	0,013	0,009	ND	0,009	0,025
	Fundo	0,038	0,059	0,042	0,019	0,029	0,068
Carbono Orgânico Total (mg C/L)	Superfície	2,7	2,9	2,9	2,6	2,2	1,9
	Meio	3,2	2	2,8	2,5	2,2	1,9
	Fundo	2	1,8	2,1	2,6	3	1,9

Figura 11: Localização dos pontos de coleta utilizados por SABESP (2012).

Os valores observados nas duas campanhas não permitiram identificação dos limites espaciais da pluma e suas concentrações máximas, mas apenas se no local coletado os limites de balneabilidade foram ultrapassados. No caso da primeira campanha, uma possível dispersão da pluma para nordeste é indicada. Na segunda campanha, valores superiores foram observados em pontos de diferentes direções do centro de lançamento, não permitindo afirmar sobre a direção predominante de dispersão no dia da campanha.

O ponto controle EM13 apresentou valores de 4,72 mg/L de oxigênio dissolvido e 0,079 mg/L de fósforo total, ficando fora dos limites indicados pela Resolução.

Entretanto, esses valores podem ser devido às amostras serem de fundo, e o local tem profundidade de 20 metros.

Coletas pontuais dificilmente conseguem identificar a extensão, o gradiente de concentração e a evolução no tempo de plumas. A não ser que as concentrações lançadas e as correntes sejam constantes. Caso contrário, a pluma tem comportamento muito dinâmico, alterando suas dimensões e concentrações em escala de horas. A baixa resolução espacial e temporal não permite que coletas pontuais registrem as alterações. Por outro lado, modelos numéricos têm auxiliado em estudos de emissários submarinos, possibilitando identificação da pluma espaço-temporalmente.

A seguir serão apresentadas informações de meteorologia, hidrodinâmica e de dispersão de esgoto.

6.2 Meteorologia

Informações do CPTEC / INPE de evolução latitudinal dos sistemas frontais frios ao longo do litoral da América do Sul foram resgatados, permitindo quantificar os sistemas frontais frios que chegaram até a área de estudo. Na **Tabela 14** é apresentado o número de sistemas que chegaram à latitude da área de estudo, representada pela cidade de Santos. Nas **Figuras 12 e 13** são apresentadas as evoluções dos sistemas para os meses de janeiro e julho de 2012.

Tabela 14: Número de sistemas frontais frios que chegaram a latitude do município de Guarujá.

jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12
1	0	1	4	2	3
jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12
5	1	3	2	1	0

Figura 12: Evolução latitudinal dos sistemas frontais frios pelo litoral ao longo do mês de janeiro de 2012 (CPTEC / INPE).

Figura 13: Evolução latitudinal dos sistemas frontais frios pelo litoral ao longo do mês de julho de 2012 (CPTEC / INPE).

Os meses de verão, constituído pelos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, receberam influencia de apenas dois sistemas frontais frios, permanecendo abaixo da quantidade recebida nos meses de inverno. Relação coerente com os padrões meteorológicos e oceânicos típicos da região, caracterizados pelo reduzido número de frentes frias nos meses mais quentes (ANDRADE, 2005); de fato, a **Figura 12** demonstra que houve apenas duas frentes frias que se propagaram ao longo do litoral brasileiro em janeiro de 2012, a primeira chegando até Porto Alegre (RS) no dia 12 e a segunda até o Rio de Janeiro (RJ) no dia 27, a qual passou por Santos-SP no dia 26; em contrapartida, em julho houve onze sistemas frontais, dos quais cinco chegaram até Santos – SP, nos dias 8, 13, 18, 27 e 30.

As séries temporais das variáveis meteorológicas para os meses de janeiro e julho de 2012, relativas à pressão atmosférica ao nível do mar, temperatura do ar e

ventos, calculadas pelo modelo do NCEP / NCAR, com interpolação para a área costeira do Guarujá, são apresentadas nas **Figuras 14 e 15**.

Em seguida, são apresentadas as figuras correspondentes à bússola e histograma angular dos ventos calculados pelo modelo para janeiro e julho de 2012, nas **Figuras 16 e 17**.

Os tratamentos estatísticos das séries temporais de janeiro e julho de 2012 são apresentados nas **Tabelas 15 e 16**.

Figura 14: Pressão atmosférica, temperatura do ar e vento na superfície (intensidades em preto e vetores em vermelho), calculados pelo modelo do NCEP / NCAR para o mês de janeiro de 2012, na posição 24,0285° S 046,2233°.

Figura 15: Pressão atmosférica, temperatura do ar e vento na superfície (intensidades em preto e vetores em vermelho), calculados pelo modelo do NCEP / NCAR para o mês de julho de 2012, na posição 24,0285° S 046,2233° W.

Figura 16: Bússola e histograma angular do vento na superfície, calculados pelo modelo do NCEP / NCAR para o mês de janeiro de 2012, na posição 24,0285° S 046,2233° W.

Figura 17: Bússola e histograma angular do vento na superfície, calculados pelo modelo do NCEP / NCAR para o mês de julho de 2012, na posição 24,0285° S 046,2233° W.

Tabela 15: Estatística básica dos dados do NCEP / NCAR para janeiro de 2012, referente à média, desvio padrão, mediana, mínimo, máximo, curtose e assimetria para as variáveis temperatura do ar, pressão ao nível do mar, umidade relativa, água precipitável, componentes EW e NS do vento e intensidade do vento, na superfície.

jan/12	Média	Dp	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
Temp. ar (°C)	22,22	1,58	21,99	19,03	26,71	2,95	0,46
Pres (hPa)	1011,72	2,52	1012,07	1002,36	1016,64	4,73	-1,05
Um. Rel (%)	91,58	5,53	92,42	72,76	100,00	3,80	-0,81
Ág. Prec (kg/m ²)	38,71	9,63	40,44	15,98	55,20	2,69	-0,60
Ew (m/s)	-1,02	1,69	-0,88	-4,92	5,13	3,78	0,38
Ns (m/s)	0,69	2,07	0,48	-5,66	6,68	3,71	-0,01
Vento (m/s)	2,57	1,42	2,44	0,22	6,70	3,36	0,81

Tabela 16: Estatística básica dos dados do NCEP / NCAR para julho de 2012, referente a média, desvio padrão, mediana, mínimo, máximo, curtose e assimetria para as variáveis temperatura do ar, pressão ao nível do mar, umidade relativa, água precipitável, componentes EW e NS do vento e intensidade do vento, na superfície.

jul/12	Média	Dp	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
Temp. ar (°C)	18,87	3,30	18,47	13,06	27,29	2,94	0,66
Pres (hPa)	1017,66	3,94	1017,50	1005,48	1027,08	3,24	-0,10
Um. Rel (%)	78,11	15,20	82,56	39,05	100,00	2,62	-0,81
Ág. Prec (kg/m ²)	22,39	7,86	20,34	9,02	39,98	1,90	0,30
Ew (m/s)	-0,65	3,08	-1,34	-9,22	11,43	4,73	0,89
Ns (m/s)	0,10	2,89	-0,50	-5,74	7,32	2,75	0,56
Vento (m/s)	3,72	2,08	3,45	0,49	11,78	4,06	0,89

Em janeiro, a temperatura do ar na superfície calculada pelo modelo atmosférico apresentou forte tendência de elevação, à taxa de $0,1023^{\circ}\text{C}/\text{dia}$, do dia 01 até o dia 25; com a passagem de uma única frente fria por Santos no mês, em 26 de janeiro, houve acentuada queda de temperatura, da máxima mensal de $26,76^{\circ}\text{C}$ no dia 25 para a mínima mensal de $19,03^{\circ}\text{C}$ no dia 28; após esse dia se observa nova tendência de elevação da temperatura de superfície (**Figura 11**). Já no mês de julho, a temperatura média do ar foi de $18,87 \pm 3,30^{\circ}\text{C}$, ficando abaixo da média de janeiro. Isso evidencia a influência sazonal na região (**Tabelas 15 e 16**). As baixas temperaturas ocorridas no dia 8 foi resultado da passagem da frente fria que chegou a Santos no mesmo dia. A baixa temperatura continuou até dia 21. Nesse período passou por Santos mais duas frentes frias.

No mês de janeiro, com a ocorrência de tempo bom na maior parte do mês, as componentes EW e NS do vento tiveram médias mensais de $-1,02 \pm 1,69$ m/s e $0,69 \pm 2,07$ m/s respectivamente, portanto, com a predominância dos ventos de leste, apesar da influência das poucas frentes frias e da Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS (**Tabela 15**). A máxima intensidade do vento ocorreu no dia 27, com 6,75 m/s, com forte componente de Sul, devido ao único sistema frontal que passou pela região durante o mês, no dia anterior. O segundo máximo de vento foi devido à formação de uma Zona de Convergência do Atlântico Sul após o outro sistema frontal que se propagou pela costa brasileira, mas que se dissipou rumo ao Atlântico no dia 13 do mês, tendo provocado ventos de até 5,98 m/s no dia 15 na região de Santos, com forte componente de norte. O terceiro máximo de vento ocorreu no dia 01 do mês, com 5,45 m/s e forte componente de leste, devido a uma ZCAS; e o quarto máximo se deu no dia 23, com 4,98 m/s e forte componente de Oeste, associado a tempo bom, em condição pré-frontal.

No mês de julho, as componentes EW e NS do vento tiveram médias mensais (calculadas pelo modelo atmosférico) de $-0,65 \pm 3,08$ m/s e $0,10 \pm 2,89$ m/s respectivamente, portanto, com a predominância dos ventos fracos de leste, mas fortes ventos de sul e de oeste associados aos sistemas frontais (**Tabela 16 e Figura 17**). Picos de intensidade do vento ocorreram nos dias 8 com 6,95 m/s, 9 com 6,55 m/s, 13 com 8,02 m/s, 15 com 7,45 m/s, 17 com 10,17 m/s, 18 com 11,78 m/s e 31 com 8,19 m/s, relacionados a passagem de sistemas frontais.

Em janeiro, por se tratar de um mês de verão, a umidade relativa do ar foi elevada, com média mensal de $91,58 \pm 5,53$ % e mínima de 72,76 %. Já em julho a umidade relativa do ar foi menor que nos meses de verão, com média mensal de $78,11 \pm 15,20$ % e mínima de 39,05 %.

Em seguida é apresentada a **Figura 18** com valores máximos mensais de radiação solar para a região de estudo.

Figura 18: Valores máximos de radiação solar para o município de Guarujá. coletados pela estação automática localizada na Ilha da Moela – SP. Fonte dos dados brutos: INMET.

Os valores máximos de radiação solar nos meses de verão e primavera foram superiores aos de outono e inverno, com máximo de 1.125 W/m² em novembro. O mínimo foi em junho com 650 W/m². Essa sazonalidade é um padrão típico da região.

6.3 Modelagem

6.3.1 Hidrodinâmica

O modelo numérico hidrodinâmico foi processado para todos os meses de 2012, simulando as correntes de toda a região de estudo. Na **Figura 19** encontra-se o mapa da região modelada. Subáreas e pontos de observação foram criados a fim de auxiliar na análise dos resultados. Coordenadas dos pontos de observação estão na **Tabela 17**.

Figura 19: Pontos de observação para análise hidrodinâmica. Subárea em azul contempla os estuários de Santos e São Vicente, em amarelo o Canal de Bertioga, em vermelho a Baía de Santos, e em verde a região costeira.

Tabela 17: Coordenadas dos pontos de observação. DATUM WGS1984 e zona 23S.

Pontos	UTM		Graus Decimais	
	X	Y	Longitude	Latitude
BS1	366003	7332126	-46,318547	-24,117574
BS2	365827	7337175	-46,319811	-24,071966
GR2	378728	7340906	-46,192626	-24,039324
PP2	385973	7349009	-46,120752	-23,966687
CB1	384467	7361087	-46,134597	-23,857501
CB2	377063	7354550	-46,207844	-23,915981
CB3	369845	7354067	-46,278788	-23,919771
BS3	362620	7344698	-46,350647	-24,003760
CP1	367097	7345878	-46,306533	-23,993490
CP2	368985	7347272	-46,287846	-23,981062
Cos	359972	7357402	-46,375459	-23,888822
SV3	357307	7353882	-46,401973	-23,920369
SV2	354594	7351760	-46,428833	-23,939280
SV1	358705	7347791	-46,388827	-23,975489
GR1	382341	7335127	-46,157564	-24,091775
PP1	391479	7345865	-46,066872	-23,995463
BT2	387736	7359075	-46,102648	-23,875911
BT1	393202	7359104	-46,048974	-23,876020
PG2	352799	7337300	-46,447922	-24,069685
PG1	352582	7332002	-46,450598	-24,117502
MPS	367213	7350551	-46,304963	-23,951302
MIM	371250	7339607	-46,266265	-24,050456
ESG	375561	7342124	-46,223657	-24,028073

Uma série temporal gerada pelo modelo hidrodinâmico no processamento de marés foi comparada com previsão harmônica de maré gerada por dados coletados por marégrafo localizado na Ilha da Moela, conforme mostrado na **Figura 20**. A análise estatística comparativa destas duas séries indica correlação de 90%, e a série das diferenças possui os seguintes parâmetros estatísticos: média: 0,02 m; desvio padrão: 0,14 m; e média dos valores absolutos: 0,08 m.

Uma forma muito conveniente de verificar a concordância entre medições e resultados de um modelo (ou duas séries quaisquer) foi proposta por Wilmott (1981), que calcula um parâmetro baseado na comparação entre uma série de observações X_o (com média X_{omed}) e uma série proveniente de um modelo X_m da seguinte forma:

$$WILM = 1 - \frac{\sum (|X_m - X_o|)^2}{\sum (|X_m - X_{omed}| + |X_o - X_{omed}|)^2}$$

O parâmetro de Wilmott (skill) é mais próximo a 1 quanto melhor o ajuste entre as séries X_o e X_m (do modelo às observações ou previsões harmônicas, por exemplo) e mais próximo a zero quanto maior o desajuste; no processamento de maré realizado, para o nível do mar na Ilha da Moela, resultou o parâmetro skill igual a 0,94 – um ótimo resultado.

Figura 20: Comparação dos resultados de nível do mar do modelo referentes ao processamento de maré (azul) com previsão harmônica (vermelha), para a Ilha da Moela (ponto de observação MIM), em janeiro de 2012.

Evidentemente, os processamentos de maré isoladamente tem grande utilidade, pois demonstram a precisão das entradas nos processamentos computacionais, inclusive quanto aos parâmetros de tempo, além do fato das marés constituírem o principal efeito da circulação costeira na região de interesse. Por outro lado, o objetivo principal da modelagem se encontra nas simulações com todas as forçantes simultaneamente, a análise de condições extremas associadas a eventos meteorológicos intensos e a

utilização dos resultados do modelo de circulação como entrada para a modelagem da dispersão.

As saídas do modelo para forçantes de maré, vento, densidade e vazão de rios são apresentadas abaixo separadas em três subáreas.

6.3.1.1 Estuário de Santos e São Vicente

As saídas do modelo com todas as forçantes são apresentadas nas **Figuras 21 e 22**, compreendendo os mapas de correntes em condições de máximas correntes enchentes e vazantes em outubro de 2012, nas **Figuras 23 a 25**, com séries temporais do nível do mar e de correntes dos pontos CP1, SV1 e Cos.

Figura 21: Correntes superficiais do estuário de Santos e São Vicente durante a enchente da maré. Dia 02/10/2012 as 03:00 hrs UTC.

Figura 22: Correntes superficiais do estuário de Santos e São Vicente durante a vazante da maré. Dia 01/10/2012 as 20:00 hrs UTC.

Figura 23: Ponto CP1 para outubro/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.

Figura 24: Ponto SV1 para outubro/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.

Figura 25: Ponto Cos para outubro/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.

As maiores intensidades de corrente observadas ocorreram nas desembocaduras dos canais estuarinos, ultrapassando 0,95 m/s, especialmente canal estuarino do Porto de Santos (CP1), que chegou a 1,11 m/s. Correntes bem intensas também foram observadas na desembocadura do Canal do Porto (CP1) até a Ilha dos Bagres, interior do estuário, com valores superiores a 0,50 m/s (**Figura 22**). Após a ilha, até o ponto Cos, as correntes foram mais baixas, fluindo com intensidades chegando a 0,35 m/s. Já no Estuário de São Vicente, as correntes chegaram a 0,97 m/s no ponto SV1. No ponto SV2, localizado mais no interior do estuário, as correntes foram mais fracas, alcançando 0,22 m/s. Já na área a noroeste da Ilha de São Vicente, as correntes ficam um pouco mais intensas chegando a 0,46 m/s (SV3). Esse aumento deve-se à menor largura do canal e influência dos rios que desaguam na área. As direções em todos os pontos de observação são influenciadas pela morfologia das margens, e pelo momento da maré, variando em 180° entre a baixa-mar e a preamar.

Em profundidade foi observada influência da cunha salina no Canal do Porto, alterando sentido predominante das correntes. Isso deve-se a diferença de densidade entre as águas do mar e dos rios, fazendo com que a água doce flua na superfície, e a água do mar flua nas camadas de fundo. Na **Figura 26** são apresentados histogramas angulares das correntes de superfície, meia água e fundo dos pontos CP1 e Cos, demonstrando a influência citada. Em pontos próximos à desembocadura de rios com grande vazão e que possuem pequena profundidade, esse fenômeno não é sentido a ponto de alterar a direção predominante do fluxo.

A cunha salina também pode ser observada em transectos de salinidade, como apresentado na **Figura 27**. Denotando ao estuário características de circulação de ambiente parcialmente misturado a moderado, e com estratificação vertical.

Figura 26: Histogramas angulares (m/s) das correstes de outubro/2012. Simulação com todas as forçantes.

Figura 27: Transecto de salinidade no Canal do Porto iniciando no ponto CP1 até ponto Cos.

A fim de demonstrar a variação sazonal entre verão e inverno, é apresentada, nas **Tabelas 18 e 19**, a estatística básica de elevação da superfície e de intensidade das correntes na superfície, para dois pontos (Cos e CP1) nos meses de janeiro e julho, contendo os valores de média, desvio padrão da média, mediana, mínimo, máximo, curtose e assimetria.

Tabela 18: Estatística básica de nível do mar para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des. Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
Cos	jan/12	0,03	0,39	0,07	-1,15	1,10	2,82	-0,34
	jul/12	0,07	0,40	0,11	-1,05	1,03	2,79	-0,38
CP1	jan/12	0,00	0,36	0,04	-1,03	0,96	2,80	-0,33
	jul/12	0,04	0,37	0,09	-0,95	0,92	2,73	-0,38
CP2	jan/12	0,01	0,38	0,05	-1,07	1,03	2,79	-0,31
	jul/12	0,05	0,38	0,10	-1,00	0,97	2,72	-0,36
MPS	jan/12	0,01	0,40	0,04	-1,13	1,11	2,71	-0,27
	jul/12	0,05	0,41	0,09	-1,04	1,05	2,66	-0,31
SV1	jan/12	0,02	0,35	0,04	-0,91	1,04	2,63	-0,17
	jul/12	0,05	0,36	0,08	-0,85	0,97	2,60	-0,23
SV2	jan/12	0,03	0,37	0,04	-0,87	1,18	2,60	0,03
	jul/12	0,07	0,38	0,08	-0,80	1,08	2,55	-0,03
SV3	jan/12	0,02	0,39	0,06	-0,99	1,09	2,48	-0,17
	jul/12	0,07	0,39	0,10	-0,91	1,02	2,48	-0,22

Tabela 19: Estatística básica de intensidade de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
Cos	jan/12	0,13	0,06	0,12	0,01	0,29	2,45	0,38
	jul/12	0,13	0,06	0,12	0,00	0,30	2,60	0,41
CP1	jan/12	0,47	0,23	0,50	0,03	1,03	1,94	-0,14
	jul/12	0,47	0,23	0,50	0,00	0,98	1,98	-0,17
CP2	jan/12	0,37	0,21	0,36	0,01	0,81	1,82	0,02
	jul/12	0,37	0,20	0,38	0,01	0,79	1,84	0,01
MPS	jan/12	0,41	0,24	0,41	0,00	0,91	1,83	0,01
	jul/12	0,41	0,24	0,41	0,00	0,89	1,83	0,00
SV1	jan/12	0,43	0,21	0,44	0,01	0,89	2,18	-0,14
	jul/12	0,42	0,20	0,43	0,01	0,89	2,19	-0,03
SV2	jan/12	0,06	0,03	0,06	0,01	0,22	3,57	0,76
	jul/12	0,06	0,03	0,06	0,00	0,17	3,03	0,53
SV3	jan/12	0,15	0,09	0,14	0,00	0,43	2,66	0,53
	jul/12	0,15	0,09	0,14	0,00	0,43	2,81	0,58

A região está sob condição de micromaré semi-diurna, com dois ciclos de variação por dia. As diferenças entre verão e inverno estão ligadas principalmente à vazão fluvial, que no verão tendem a aumentar devido ao aumento dos volumes de chuvas. Já as diferenças dentro do mês estão relacionadas à maré, que varia durante o mês entre maré de quadratura e de sizígia. Essas variações da maré foram observadas, com diferenças significativas, como esperado (**Figuras 23 a 25**). No interior do estuário a variação do nível do mar é aumentada, tendo os maiores valores. Marés de sizígia

ocorrem durante as fases lunares nova e cheia. Já quadratura é durante as fases crescentes e minguantes.

6.3.1.2 Canal de Bertioga

As saídas do modelo com todas as forçantes são apresentadas nas **Figuras 28 a 30**, compreendendo os mapas de correntes em condições de máximas correntes enchentes e vazantes em outubro de 2012, nas **Figuras 31 a 33**, com séries temporais do nível do mar e de correntes dos pontos CB1, CB2 e CB3.

Figura 28: Correntes superficiais do Canal de Bertioga durante enchente da maré. Dia 09/03/2012 as 03:00 hrs UTC.

Figura 29: Correntes superficiais do Canal de Bertioga durante enchente da maré. Dia 09/03/2012 as 06:00 hrs UTC.

Figura 30: Correntes superficiais do Canal de Bertioga durante vazante da maré. Dia 09/03/2012 as 09:00 hrs UTC.

Figura 31: Ponto CB1 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.

Figura 32: Ponto CB2 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.

Figura 33: Ponto CB3 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.

Maiores intensidades de corrente foram observadas nas extremidades oeste e leste do canal, especialmente na desembocadura para o mar, do lado leste. As intensidades nesse local tiveram as máximas mensais entre 1,09 e 1,35 m/s. Na desembocadura oeste o canal se liga ao estuário de Santos, e alcança correntes de 0,5 m/s durante mares de sizígia. Correntes bem intensas também foram observadas entre as extremidades oeste e leste até próximo ao centro do canal, como na **Figura 29**. Já na região central do canal, chamado de Lago do Candinho, as menores intensidades foram observadas, com valores máximos mensais entre 0,29 e 0,33 m/s. A diferença de velocidade de corrente, entre as desembocaduras do canal e o centro, é por causa da maré que influencia primeiro o estuário de Santos, gerando correntes que avançam no estuário de Santos até o lado oeste do canal. Em seguida, a maré influencia a desembocadura leste do canal, gerando corrente de maré enchente. Ocorrendo assim um encontro das correntes de maré no centro do canal, e proporcionando correntes mais

intensas nas desembocaduras e mais fracas no centro. As direções das correntes em todo o canal são influenciadas pela morfologia das margens e pelo momento da maré, variando em 180° entre a baixa-mar e a preamar.

Em profundidade foi observada influencia da cunha salina alterando sentido predominante das correntes no ponto CB1. Já nos pontos CB2 e CB3 o fenômeno não foi observado, com direções predominantes semelhante em toda a coluna de água para o quadrante leste. A predominância dessa direção indica presença de correntes de maré residuais que fluem do estuário de Santos para o mar através do Canal de Bertiooga, tornando o canal parte do Complexo Estuarino de Santos e São Vicente. As intensidades na superfície e o fundo foram diferentes, como esperado, com valores máximos para CB1, CB2 e CB3 de 1,03, 0,31 e 0,45 m/s na meia profundidade, e 0,77, 0,22 e 0,33 m/s no fundo respectivamente. Na **Figura 34** são apresentados histogramas angulares das correntes de superfície e fundo dos pontos CB1, CB2 e CB3. E na **Figura 35** tem um transecto de salinidade do canal.

Figura 34: Histogramas angulares (m/s) das correstes de março/2012. Simulação com todas as forçantes.

Figura 35: Transecto de salinidade no Canal do Porto entre os pontos CB3 (a esquerda) e CB1 (a direita).

A fim de demonstrar a variação sazonal entre verão e inverno, é apresentada, nas **Tabelas 20 e 21**, a estatística básica de elevação da superfície e de intensidade das correntes na superfície, para os pontos CB1, CB2 e CB3 nos meses de janeiro e julho, contendo os valores de média, desvio padrão da média, mediana, mínimo, máximo, curtose e assimetria.

Tabela 20: Nível do Mar

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
CB1	jan/12	0,00	0,29	0,03	-0,87	0,85	2,96	-0,26
	jul/12	0,04	0,30	0,07	-0,74	0,88	2,83	-0,21
CB2	jan/12	0,05	0,29	0,03	-0,55	1,06	2,71	0,34
	jul/12	0,09	0,30	0,08	-0,51	1,02	2,63	0,29
CB3	jan/12	0,06	0,28	0,05	-0,57	0,99	2,56	0,17
	jul/12	0,10	0,29	0,10	-0,53	1,01	2,57	0,14

Tabela 21: Intensidade

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
CB1	jan/12	0,48	0,26	0,50	0,00	1,18	2,10	-0,03
	jul/12	0,48	0,26	0,50	0,01	1,11	1,90	-0,05
CB2	jan/12	0,14	0,06	0,14	0,00	0,29	2,67	-0,12
	jul/12	0,14	0,06	0,14	0,00	0,29	2,62	-0,10
CB3	jan/12	0,20	0,10	0,19	0,00	0,47	2,59	0,20
	jul/12	0,20	0,10	0,19	0,00	0,45	2,54	0,20

Como no estuário de Santos e São Vicente, o canal está sob condição de micromaré semi-diurna, com dois ciclos de variação desiguais por dia (**Figura 31 a 33**). As variações entre marés de quadratura e de sizígia foram observadas, com diferenças significativas, como esperado. A amplitude da maré no centro do canal (Lago do Candinho) sofre aumento, apresentando maiores valores de variação. A estrutura de circulação do canal é do tipo parcialmente misturado a moderado, com pouca entrada da cunha salina pela desembocadura a Oeste. Na vertical, as correntes apresentaram diferenças entre superfície e fundo por volta de 40% menos intensos no fundo. As diferenças entre verão e inverno estão ligadas principalmente à vazão fluvial, que no verão tendem a aumentar devido ao aumento dos volumes de chuvas.

6.3.1.3 Baía de Santos

As saídas do modelo com todas as forçantes são apresentadas nas **Figuras 36 a 38**, compreendendo os mapas de correntes em condições de máximas correntes enchentes e vazantes, sob ação de ventos fortes em julho de 2012, e nas **Figuras 39 e 40**, com séries temporais do nível do mar e de correntes do ponto BS3.

Figura 36: Correntes superficiais da Baía de Santos durante a vazante da maré. Dia 19/07/2012 as 11:00 hrs UTC.

Figura 37: Correntes de meia profundidade da Baía de Santos durante a enchente da maré. Dia 15/07/2012 as 11:00 hrs UTC.

Figura 38: Correntes superficiais da Baía de Santos durante ventos de Oeste. Dia 18/07/2012 as 18:00 hrs UTC.

Figura 39: Ponto BS3 para julho/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade de superfície. Simulação com todas as forçantes.

Figura 40: Ponto BS3 para julho/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade de meia profundidade. Simulação com todas as forçantes.

A Baía de Santos, ligada ao mar em sua desembocadura ao Sul, a Baía de São Vicente a Noroeste, e ao Canal do Porto a nordeste, recebe águas estuarinas e oceânicas. As correntes na baía são mais intensas próximo às desembocaduras dos canais estuarinos de Santos (Canal do Porto) e de São Vicente, chegando a intensidades acima de 0,5 m/s. Na região central da baía, onde se encontra o ponto de observação BS3, as intensidades máximas mensais variaram entre 0,27 m/s e 0,32 m/s na superfície, 0,24 m/s e 0,28 m/s em meia profundidade, e 0,13 m/s e 0,16 m/s no fundo. Próximo à desembocadura sul, as correntes são muito influenciadas pelas correntes na região costeira, com intensidades que chegaram a 0,3 m/s sob condições de sistema frontal frio. A saída das águas do estuário para o mar, passando pela baía, ocorre com correntes fluindo dos canais estuarinos para o lado oeste da baía. Depois seguem para o mar aberto. Já a entrada de águas marinhas na baía ocorre do lado leste da mesma. Esses sentidos de entrada e saída proporcionam um sistema rotativo de circulação na baía. As águas que fluem do estuário para o mar tendem a circular mais na superfície. Já as águas

oceânicas fluem para o estuário principalmente na subsuperfície, como demonstram as **Figuras 36 e 37**.

As águas de superfície da baía respondem bem à ação dos ventos locais, tendo sua direção forçada pelo mesmo (**Figura 38**). Já a maré domina a circulação de subsuperfície, com direção variável segundo o momento da maré.

Na **Figura 41** é apresentado um transecto de salinidade da Baía de Santos, demonstrando a influência dos aportes de água salobra para estratificação vertical na baía.

Na **Figura 42** são apresentados histogramas angulares das correntes de superfície, subsuperfície, meia profundidade e fundo do ponto BS3.

Figura 41: Transecto de salinidade entre a praia de Santos até a desembocadura da baía.

Figura 42: Histogramas angulares (m/s) das correntes de julho/2012. Simulação com todas as forçantes.

Informações referentes à variação sazonal entre verão e inverno são apresentadas nas **Tabelas 22 a 25**, resultantes da estatística básica de elevação da superfície, componentes zonal e meridional, e intensidade das correntes na superfície, para o ponto BS3 nos meses de janeiro e julho, contendo os valores de média, desvio padrão da média, mediana, mínimo, máximo, curtose e assimetria.

Tabela 22: Estatística básica de nível do mar para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
BS3	jan/12	0,00	0,35	0,03	-1,05	0,93	2,88	-0,37
	jul/12	0,04	0,36	0,09	-0,95	0,90	2,80	-0,41

Tabela 23: Estatística básica da componente zonal da corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
BS3 k1	jan/12	-0,05	0,06	-0,04	-0,29	0,09	4,41	-1,04
	jul/12	-0,06	0,08	-0,05	-0,32	0,18	3,75	-0,54
BS3 k2	jan/12	0,02	0,05	0,02	-0,11	0,19	3,16	0,17
	jul/12	0,02	0,05	0,02	-0,18	0,17	3,89	-0,38
BS3 k3	jan/12	0,02	0,03	0,02	-0,06	0,10	2,98	0,18
	jul/12	0,02	0,03	0,02	-0,08	0,10	3,22	0,25

Tabela 24: Estatística básica da componente meridional de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
BS3 k1	jan/12	-0,10	0,06	-0,10	-0,25	0,07	2,60	0,06
	jul/12	-0,09	0,06	-0,09	-0,24	0,04	2,30	-0,15
BS3 k2	jan/12	0,03	0,07	0,03	-0,14	0,26	2,56	0,32
	jul/12	0,03	0,07	0,02	-0,19	0,25	2,95	0,32
BS3 k3	jan/12	0,01	0,06	0,01	-0,14	0,14	2,20	0,16
	jul/12	0,01	0,06	0,01	-0,10	0,14	2,16	0,21

Tabela 25: Estatística básica de intensidade de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
BS3 k1	jan/12	0,13	0,05	0,13	0,00	0,29	2,88	0,26
	jul/12	0,13	0,06	0,13	0,00	0,32	2,81	0,28
BS3 k2	jan/12	0,08	0,05	0,07	0,00	0,26	3,13	0,73
	jul/12	0,08	0,05	0,07	0,00	0,26	3,03	0,72
BS3 k3	jan/12	0,06	0,03	0,06	0,00	0,15	2,39	0,41
	jul/12	0,06	0,03	0,06	0,00	0,14	2,40	0,39

No inverno as correntes foram mais intensas na superfície, indicando a influencia dos ventos fortes gerados por sistemas de frontais frios. Esses ventos também proporcionam empilhamento de água e elevação do mar local. Essa subida do mar local pode ser observada pela média de nível do mar, que em julho foi de 0,04 m. Já no verão são as vazões de rios que podem influenciar um aumento das correntes por conta do maior volume de chuvas. A estrutura de circulação da Baía de Santos está sob influência das vazões dos rios, maré astronómica, maré meteorológica e vento local, proporcionando um sistema de correntes que respondem mais ao vento na superfície, e a

maré nas camadas abaixo. As correntes formam um giro na baía, diminuindo a renovação de suas águas, e assim, proporcionando propensão à eutrofização. Principalmente porque esgotos chegam à baía pelos canais estuarinos e pelo Emissário Submarino de Santos, que lança seus esgotos no centro da baía.

6.3.1.4 Região Costeira – Guarujá

As saídas do modelo com todas as forçantes são apresentadas nas **Figuras 43 a 47**, compreendendo os mapas de correntes no mês de março de 2012, e nas **Figuras 48 a 50**, com séries temporais do nível do mar e de correntes dos pontos PG2, ESG e BT1.

Figura 43: Correntes para sudoeste atuando na superfície da região costeira da área de estudo. Dia 06/03/2012 as 22:00 hrs UTC.

Figura 44: Correntes para norte atuando na superfície da região costeira da área de estudo. Dia 25/03/2012 as 02:00 hrs UTC.

Figura 45: Correntes para nordeste atuando na superfície da região costeira da área de estudo. Dia 23/03/2012 as 18:00 hrs UTC.

Figura 46: Correntes para nordeste atuando na meia profundidade da região costeira do Guarujá. Dia 23/03/2012 as 18:00 hrs UTC.

Figura 47: Correntes para nordeste atuando no fundo da região costeira do Guarujá. Dia 23/03/2012 as 18:00 hrs UTC.

Figura 48: Ponto PG2 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.

Figura 49: Ponto ESG para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.

Figura 50: Ponto BT1 para março/2012. Do gráfico superior ao inferior são apresentados nível do mar, correntes e intensidade. Simulação com todas as forçantes.

A área costeira considerada nesse estudo vai do final de Praia Grande, a sudoeste, até início de Bertioga (nordeste), passando pela região do Guarujá. As correntes nessa região são influenciadas principalmente por duas forçantes: maré e vento. A maré proporciona padrão de correntes com ciclos bem definidos, e direção segundo o momento da onda de maré. As intensidades de suas correntes nesse ambiente não tendem a ultrapassar 0,1 m/s em marés de sizígia. Durante marés de quadratura a intensidade tende a valores ainda menores. O vento, por sua vez, pode proporcionar correntes bem mais intensas, estando relacionadas a sua intensidade. A direção da corrente gerada pelo vento em locais com profundidade menores que 20 m, é praticamente a mesma direção do vento, sofrendo variações apenas devido à morfologia da costa e à batimetria.

Os resultados da modelagem indicaram intensidades e direções das correntes dependendo da região. A região ao largo de Praia Grande até a Ilha da Moela, representada pelos pontos PG1, PG2, BS1 e BS2, apresentaram correntes mais intensas, ultrapassando 0,66 m/s nos pontos mais ao largo. As direções na superfície foram influenciadas principalmente pelo vento, apresentando direções predominantes para nordeste e sudoeste, seguindo a morfologia da costa.

Na área central, representada pelos pontos GR1, GR2 e ESG, a velocidade das correntes foram mais intensas ao largo, no ponto GR1, com máximo de 0,89 m/s e média mensal máxima de 0,33 m/s. Os pontos GR2 e ESG tiveram máximos de 0,78 e 0,66 m/s e média mensal máxima de 0,24 e 0,18 m/s, respectivamente. As diferenças entre os pontos mais internos e o ponto mais ao largo está no fato que a Ilha da Moela e a Morfologia da Costa proporcionam uma pequena redução das intensidades das correntes. O mesmo ocorre nos pontos do lado Noroeste da área de estudo. A intensidade no ponto BT1 é sempre acima do ponto BT2, isso porque o segundo ponto está mais protegido pela morfologia da costa. As intensidades no BT2 chegaram no máximo a 0,55 m/s no mês de fevereiro; já o BT1, no mesmo mês, teve máximo de 0,65 m/s, e no ano de 0,71 m/s.

Os rios do estuário de Santos e São Vicente tendem a influenciar as correntes até próximo a Ilha da Moela, intensificando as correntes como apresentado na **Figura 45**.

O vento influencia mais intensamente a camada superficial, reduzindo a influência à medida que se aproxima do fundo. Em situação de ventos fracos, a maré se torna predominante, controlando a direção predominante da corrente.

No local de lançamento do Emissário Submarino do Guarujá, as correntes mais intensas foram as para nordeste, geradas por ventos de sul. Já as correntes para sudoeste

são consequência dos ventos de nordeste, proporcionados por sistema sinótico de alta pressão. As correntes menos expressivas, e com direção para noroeste e sudeste, são forçadas principalmente pela maré. Na **Figura 51** é apresentada uma bússola com corrente do local.

Figura 51: Bússola com direção e intensidade de corrente de superfície no ponto de lançamento do Emissário Submarino do Guarujá.

No local de lançamento do emissário submarino pode ocorrer estratificação na coluna de água, como demonstrado na **Figura 52**. Isso tende a influenciar na dispersão do esgoto, aprisionando a pluma na subsuperfície, e permitindo que ela avance por distancias maiores, visto que o decaimento será menor por causa da redução da radiação solar sobre a pluma.

Figura 52: Transecto de salinidade entre a Praia da Enseada no Guarujá até a área de lançamento do Emissário Submarino do Guarujá.

Informações sobre intensidade e direção de correntes na vertical são apresentadas na **Figura 53** através de histogramas angulares.

Figura 53: Histogramas angulares (m/s) das correstes de março/2012. Simulação com todas as forçantes.

Nas **Tabelas 20 e 21** são aprestadas estatísticas básicas de elevação da superfície e de intensidade das correntes na superfície, para os pontos PG2, ESG e BT1 nos meses de janeiro e julho, contendo os valores de média, desvio padrão da média, mediana, mínimo, máximo, curtose e assimetria.

Tabela 26: Estatística básica de nível do mar para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
PG2	jan/12	-0,01	0,38	0,03	-1,12	0,99	2,82	-0,33
	jul/12	0,04	0,38	0,08	-1,00	0,97	2,76	-0,37
ESG	jan/12	0,00	0,35	0,02	-1,03	0,93	2,81	-0,32
	jul/12	0,03	0,35	0,07	-0,91	0,91	2,73	-0,36
BT1	jan/12	-0,01	0,34	0,01	-1,02	0,91	2,86	-0,31
	jul/12	0,03	0,35	0,06	-0,90	0,92	2,73	-0,33

Tabela 27: Estatística básica da componente zonal de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
PG2	jan/12	-0,06	0,31	-0,10	-0,62	0,59	1,75	0,13
	jul/12	0,01	0,30	-0,02	-0,52	0,58	1,57	0,03
ESG	jan/12	0,02	0,13	0,03	-0,49	0,38	4,17	-0,64
	jul/12	0,04	0,11	0,05	-0,39	0,41	3,42	-0,36
BT1	jan/12	-0,03	0,19	-0,01	-0,50	0,33	2,16	-0,22
	jul/12	-0,02	0,19	0,00	-0,50	0,44	2,03	-0,24

Tabela 28: Estatística básica da componente meridional de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
PG2	jan/12	-0,02	0,06	-0,03	-0,14	0,28	5,19	1,00
	jul/12	-0,03	0,05	-0,03	-0,15	0,11	3,25	0,11
ESG	jan/12	-0,10	0,09	-0,10	-0,31	0,20	2,69	0,27
	jul/12	-0,10	0,09	-0,11	-0,29	0,13	2,29	0,16
BT1	jan/12	0,01	0,18	0,01	-0,37	0,43	2,09	0,01
	jul/12	-0,02	0,16	-0,01	-0,40	0,39	2,30	0,02

Tabela 29: Estatística básica de intensidade de corrente de superfície para os meses de janeiro e julho de 2012.

Ponto	Mês	Média	Des.Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
PG2	jan/12	0,29	0,15	0,29	0,01	0,62	1,88	0,03
	jul/12	0,28	0,12	0,29	0,01	0,58	2,12	-0,18
ESG	jan/12	0,17	0,08	0,16	0,00	0,50	3,26	0,54
	jul/12	0,16	0,07	0,16	0,01	0,42	2,86	0,10
BT1	jan/12	0,25	0,09	0,24	0,01	0,54	3,23	0,20
	jul/12	0,23	0,10	0,22	0,01	0,53	2,81	0,37

As diferenças entre correntes de inverno e verão estão relacionadas principalmente à passagem de sistemas sinóticos, como frentes frias, e influência de centros de alta pressão.

6.3.2 Dispersão de Esgoto

Os modelos de dispersão de esgoto foram processados para os meses de janeiro, março, julho e agosto, com exceção das simulações dos canais artificiais e dos rios da Praia do Perequê, que foram processados para março e julho.

Com os resultados foram gerados mapas de distribuição da pluma informando o tempo que a área ficou com condições impróprias, segundo classificação da Resolução do CONAMA nº 274/2000, concentrações máximas no mês e média mensal. Também foi realizada uma estatística simples utilizando pontos distribuídos nas praias e proximidade do emissário submarino (**Figura 54**). Os pontos localizados nas praias correspondem, aproximadamente, aos locais de coleta da CETESB. Já os pontos nas proximidades do emissário correspondem aos pontos utilizados pela SABESP para estudo no ano de 2012.

Figura 54: Localização dos pontos de monitoramento utilizados no estudo de modelagem. Eles são, aproximadamente, os pontos utilizados pela CETESB em seu monitoramento das praias. Já os pontos referentes aos trabalhos da SABESP são exatamente os mesmos.

6.3.2.1 Canais Artificiais e Rios da Praia do Perequê

Nas **Figuras 55 a 57** são apresentados mapas das praias da Enseada e de Pitangueiras com informações de concentração média mensal, concentração máxima mensal e porcentagem de horas com condições impróprias para contato primário no mês de março/2012. Já nas **Figuras 58 a 60** estão os mapas da Praia do Perequê referentes ao mês de julho.

Figura 55: Concentração média de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial das praias da Enseada e de Pitangueiras no mês de março.

Figura 56: Concentração máxima de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial das praias da Enseada e de Pitangueiras no mês de março.

Figura 57: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA nº 274/2000, na camada superficial das praias da Enseada e de Pitangueiras, no mês de março.

Figura 58: Concentração média de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial da praia do Perequê no mês de julho.

Figura 59: Concentração máxima de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial da praia do Perequê no mês de julho.

Figura 60: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA nº 274/2000, na camada superficial da Praia do Perequê, no mês de julho.

Os resultados das simulações considerando apenas os sete canais localizados na praia da Enseada e os rios da Praia do Perequê apontam como pior resultado o ponto de monitoramento de balneabilidade localizado na Praia do Perequê, com concentração máxima no mês de julho de quase 4.200 enterococos (UFC/100/ml), e no mês de março com 276 enterococos (UFC/100/ml). As médias e medianas desse ponto também permaneceram com valores acima de 100 enterococos (UFC/100 ml), com 108 e 105 enterococos (UFC/100 ml) no mês de março, e 1.190 e 723 enterococos (UFC/100 ml) no mês de julho. As diferenças de concentrações máximas entre os meses reflete a modificação dos volumes lançados (a fim de se aproximar das concentrações coletadas no local pela CETESB).

O segundo pior resultado foi no ponto Enseada_EP, no mês de março, com concentração máxima de enterococos de 263 UFC/100 ml. Já a média e mediana no mesmo mês, e os resultados do mês de julho, não ultrapassaram a concentração limite de balneabilidade. Padrões semelhantes ocorreram nos pontos Pitangueiras_P, Enseada_C e Enseada_A, apresentando condições de balneabilidade ruins apenas nas concentrações máximas do mês de março, com 105, 126 e 158 UFC/100 ml de enterococos, respectivamente. O ponto Enseada_SM chegou no máximo a 96 enterococos (UFC/100 ml) no mês de março. Mesmo sendo alto esse valor, ficou abaixo do limite de balneabilidade. Os demais pontos não indicaram condição imprópria de balneabilidade, permanecendo sempre abaixo de 52 UFC/100 ml de enterococos.

Ao consideramos os mapas gerados com as simulações, observa-se que as concentrações máximas foram além das concentrações alcançadas pelos pontos de monitoramento. Chegando a mais de 3.000 UFC/100 ml de enterococos próximo às fontes. No caso das praias da Enseada e Pitangueiras, essa concentração permaneceu por pouco tempo, com concentrações acima do limite por aproximadamente 6% do mês (45 horas). Já no

caso da Praia do Perequê, esse tempo foi de 56% (17 dias) no mês de março e 98% (30 dias) no mês de julho.

As plumas formadas pelos canais e rios se dispersam pelas praias, impactando sua qualidade, especialmente nos locais com menor energia hidrodinâmica, como próximo à área do ponto Enseada_EP, na praia da Enseada, e a na praia do Perequê. Nesses locais, as concentrações do indicador de presença de esgoto permaneceram acima do limite de balneabilidade por mais tempo, proporcionando riscos aos banhistas.

As fontes modeladas chegaram a influenciar a qualidade das águas da Praia de Pernambuco, proporcionando concentrações de até 52 UFC/100 ml. Entretanto, isso não significa que são elas às únicas culpadas pela qualidade ruim na Praia de Pernambuco. Apenas que suas influências podem chegar às praias vizinhas.

As simulações consideraram o índice pluviométrico como índice de incremento da vazão dos canais artificiais, possibilitou simulação da ação intermitente das fontes sobre as praias. Os resultados mostraram que provavelmente as chuvas influenciam na qualidade das águas das praias, aumentando a vazão dos canais e a concentração de esgoto que chegam as praias. Isso porque a água da chuva lava o solo antes de chegar aos canais artificiais, como também, esses canais já recebem despejos de esgotos diretamente. Durante os aumentos dos volumes lançados, toda a praia da Enseada ficou com condições de balneabilidade ruins, tornando suas águas impróprias para recreação de contato primário. Já a Praia do Perequê permaneceu constantemente sob condições ruins de balneabilidade, isto por causa dos rios que desaguam na praia com má qualidade. E como os volumes desses rios são mais elevados que os dos canais artificiais, e as correntes na área não são suficientes para uma rápida dispersão, ocorre acúmulo de esgotos nas águas, proporcionando riscos para prática recreativa e para os organismos filtradores sésseis que vivem no local.

6.3.2.2 Emissário Submarino do Guarujá

As simulações do emissário submarino foram realizadas em duas etapas. A primeira simulou a dispersão não hidrostática da pluma após seu lançamento na forma de jato, fornecendo as concentrações, dimensões e posições da pluma antes da entrada no estado hidrostático. Na segunda etapa foi simulada a dispersão da pluma pela área de estudo, sujeito às correntes do ambiente, cujos resultados foram analisados, referente a concentrações de poluente e impactos na qualidade das águas.

6.3.2.2.1 Campo Próximo

As **Figuras 61 a 64** contém os histogramas angulares de concentração, diâmetro e comprimento das plumas para os meses analisados. As informações nas figuras correspondem às concentrações geradas por cada difusor do emissário submarino.

Figura 61: Histograma angular com diâmetro da pluma formada pelo difusor após lançamento pelo Emissário Submarino do Guarujá. Mês de janeiro/2012.

Distância Percorrida pela Pluma (m) - Mês: 201401

Figura 62: Histograma angular com comprimento da pluma formada pelo difusor após lançamento pelo Emissário Submarino do Guarujá. Mês de janeiro/2012.

Concentração de Enterococos (UFC/100ml) - Mês: 201401

Figura 63: Histograma angular com a concentração de enterococos gerada pela influencia de um difusor após lançamento pelo Emissário Submarino do Guarujá. Mês de janeiro/2012.

Concentração de Enterococos (UFC/100ml) - Mês: 201207

Figura 64: Histograma angular com a concentração de enterococos gerada pela influencia de um difusor após lançamento pelo Emissário Submarino do Guarujá. Mês de julho/2012.

As dispersões simuladas para campo próximo apresentaram sentido predominante sudoeste e nordeste, concordando com sentido predominante das correntes no ponto. Esses sentidos estão ligados à influência dos ventos, gerando correntes praticamente no sentido dos mesmos. A maré apresentou influência, porém bem menor, para todas as direções, como é esperado de correntes de maré em ambiente aberto. As correntes de maré, por serem menos intensas, fazem com que a dispersão seja menos eficiente, ou seja, a pluma percorre uma distância menor até o equilíbrio, alcançando um menor diâmetro de pluma e, por consequência, uma concentração mais elevada. O contrário ocorre na dispersão influenciada pelas correntes mais intensas, apresentando uma melhor diluição inicial.

A orientação do Emissário Submarino do Guarujá, norte-sul, faz com que a maior parte das plumas formadas tenha uma boa diluição inicial, gerando plumas no campo afastado com concentrações de esgoto mais baixas. Entretanto, o contrário ocorre quando tem corrente em direção perpendicular à costa, fazendo com que as concentrações das plumas dos difusores sejam somadas, aumentando a concentração final da pluma, e os riscos à qualidade das águas das praias do Guarujá.

As dispersões nos meses de janeiro, março e agosto tiveram direção predominante de dispersão para sudoeste, influenciadas pela menor ação de sistema frontais frios nesses meses. Ao contrário ocorreu no mês de julho, com direção predominante para nordeste. Nesse mês ocorreram mais passagens de sistemas frontais frios do que todo o período dos outros três meses analisados (janeiro, março e agosto).

As concentrações de enterococos foram maiores no mês de janeiro, com média de 39.500 UFC/100 ml, e máxima de 147.000 UFC/100 ml, seguido pelo mês de março com 32.000 UFC/100 ml e 144.500 UFC/100 ml, agosto com 13.241 UFC/100 ml e 94.500 UFC/100 ml, e por último, julho com 11.700 e 73.600 UFC/100 ml de enterococos. Essa variação de concentração do indicador está relacionada à variação mensal de volume de esgotos lançados. Os volumes foram estimados segundo número de habitantes fixos e flutuantes, como informado na metodologia.

Na **Tabela 30** são apresentados resultados de estatística simples dos meses analisados, com informações sobre profundidade, diâmetro, concentração e comprimento das plumas finais.

Tabela 30: Estatística simples das dispersão de campo próximo do Emissário Submarino do Guarujá para os meses de janeiro, março, julho e agosto de 2012.

	Parâmetro	Média	esvio Padrã	Mediana	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria
jan/12	Profundidade (m)	6,99	1,49	6,94	0,81	10,21	3,02	-0,29
	Diâmetro (m)	11,69	5,35	11,04	5,06	55,95	28,96	4,20
	Concentração (UFC/100ml)	39.541,83	30.175,67	27.865,80	8.400,50	146.981,80	3,95	1,35
	Comprimento (m)	14,45	11,02	12,28	0,34	53,69	3,40	0,94
mar/12	Profundidade (m)	7,54	1,56	7,33	3,10	11,06	2,57	-0,14
	Diâmetro (m)	11,10	4,13	10,48	4,95	52,39	22,47	3,07
	Concentração (UFC/100ml)	31.995,12	25.692,56	21.567,40	4.176,10	144.520,90	4,14	1,33
	Comprimento (m)	15,57	13,71	11,75	0,19	78,69	5,68	1,54
jul/12	Profundidade (m)	7,88	1,50	7,51	0,20	11,70	4,37	-0,33
	Diâmetro (m)	11,85	4,79	12,09	4,14	110,40	242,36	11,87
	Concentração (UFC/100ml)	11.729,87	11.901,91	7.038,10	1.865,20	73.612,40	8,58	2,28
	Comprimento (m)	30,08	22,32	26,42	0,25	134,22	4,50	1,13
ago/12	Profundidade (m)	8,16	1,62	8,19	3,44	12,03	2,33	-0,25
	Diâmetro (m)	10,84	4,46	10,14	4,46	71,44	55,70	5,04
	Concentração (UFC/100ml)	13.241,75	12.122,39	9.126,30	1.863,70	94.502,90	9,17	2,20
	Comprimento (m)	25,21	21,55	18,23	0,11	125,51	5,96	1,60

6.3.2.2.2 Campo Distante

Nas **Figuras 65 a 68** são apresentados mapas com informações de concentração média mensal, concentração máxima mensal e porcentagem de horas com condições impróprias para contato primário no mês de janeiro/2012. Na **Figura 69** é reapresentado o mapa com a localização dos pontos de monitoramento.

Figura 65: Concentração máxima de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial no mês de janeiro/2012.

Figura 66: Concentração média de enterococos (UFC/100 ml) na camada superficial no mês de janeiro/2012.

Horas Concentração Imprópria de Enterococos (UFC/100mL) - Camada: 1 - ESG

Figura 67: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA n° 274/2000, na camada superficial no Mês de janeiro/2012.

Horas Concentração Imprópria de Enterococos (UFC/100mL) - Camada: 3 - ESG

Figura 68: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA n° 274/2000, na camada de meia profundidade no mês de janeiro/2012.

Figura 69: Localização dos pontos de monitoramento utilizados no estudo de modelagem. Eles são, aproximadamente, os pontos utilizados pela CETESB em seu monitoramento das praias. Já os pontos referentes aos trabalhos da SABESP são exatamente os mesmos.

Segundo resultados das simulações considerando apenas o Emissário Submarino do Guarujá, o ponto de monitoramento com pior resultado foi o EM1, localizado na área de descarte de esgotos do emissário submarino, com concentrações máximas em janeiro de 3.239, 6.137 e 9.619 UFC/100 ml na superfície, meia profundidade e fundo. Em julho esse ponto teve concentrações máximas de 2.203, 2.162 e 3.442 UFC/100 ml. A dispersão das maiores concentrações no mês de janeiro foi para sudoeste, porém também ocorreram dispersões significativas para noroeste e nordeste, fazendo com que os pontos de monitoramento EM2 e EM5 alcançassem concentrações acima de 1.000 UFC/100 ml. O EM4, localizado a Noroeste, teve concentrações máximas na superfície, meia profundidade e fundo de 546, 533 e 871 UFC/100 ml, respectivamente. Os pontos que ficam ao redor desses,

EM6, EM7, EM8 e EM9, tiveram valores máximos entre 43 UFC/100 ml no EM6, e 593 UFC/100 ml no EM8 a meia profundidade. Os pontos EM11 e EM12 tiveram valores máximos entre 22 e 184 UFC/100 ml. Já os pontos da CETESB localizados nas praias de Astúrias, Pitangueiras e Enseada tiveram valores entre 7 e 13 UFC/100 ml de enterococos (**Figura 65**). Os valores médios dos pontos localizados na Praia da Enseada foram de 1 UFC/100 ml e máximos de aproximadamente 12 UFC/100 ml (**Figura 66**). Nos demais pontos de monitoramento localizados nas praias, não houve concentrações máximas acima de 3 UFC/100 ml, e valores médios acima de 1 UFC/100 ml de enterococos.

Os mapas com porcentagem de tempo que as águas permaneceram acima do limite de 100 UFC/100 ml, apresentados nas **Figuras 67 e 68**, tiveram porcentagens máximas próximas ao centro da pluma de esgoto, com 22%, 45% e 50%. À medida que se afasta do centro da pluma, a porcentagem diminui, porém com sentido sudoeste-nordeste de distribuição da pluma.

Em março as concentrações máximas no EM1 foram de 4.058, 5.358 e 6.173 UFC/100 ml na superfície, meia profundidade e fundo, respectivamente. Nos pontos EM2, EM3, EM4 e EM5 as concentrações ficaram entre 76 e 1.666 UFC/100 ml, com menor valor no EM4 na superfície, e maior EM3 na superfície. As concentrações médias nesses pontos ficaram entre 6 e 72 UFC/100 ml, com maior valor ocorrendo no EM5 no fundo. Nos pontos EM6, EM7, EM8 e EM9 as concentrações máximas ficaram entre 15 e 483 UFC/100 ml, com menor valor ocorrendo no EM6 no fundo, e maior no EM6 na superfície. Os valores médios nesses pontos foram entre 2 e 28 UFC/100 ml. No ponto controle EM13, a máxima foi de 56 UFC/100 ml no fundo e média de 1 UFC/100 na superfície. Os pontos localizados nas praias só tiveram valores acima de 1 UFC/100 ml nos pontos das praias Pitangueiras e Enseada, com 3 e 4 UFC/100 ml, respectivamente.

As porcentagens de tempo que as águas permaneceram com concentrações acima do limite de balneabilidade no mês de março, para a região central da pluma, foram de 22%, 55% e 50%.

No mês de julho, a concentração máxima no ponto sobre o lançamento (EM1) foi de 3.442 UFC/100 ml no fundo. Na superfície e meia profundidade foram de aproximadamente 2.180 UFC/100 ml. Os pontos EM2, EM3, EM4 e EM5 apresentaram valores máximos entre 32 e 606 UFC/100 ml. O maior valor ocorreu no EM4 na superfície. Os valores médios ficaram entre 2 e 25 UFC/100 ml, com maior valor EM4 no fundo. Nos pontos EM6 a EM10, as concentrações máximas foram entre 17 e 309 UFC/100 ml, com maior valor no ponto EM7 a meia profundidade. EM11 e EM12, localizados entre o emissário submarino e as praias, tiveram máximos entre 13 e 53 UFC/100 ml, e médios entre 2 e 6 UFC/100 ml. Já os pontos da CETESB, localizados nas praias, tiveram máximos entre 3 e 6 UFC/100 ml nos pontos das praias de Astúrias, Pitangueiras, Enseada e Pernambuco. Os valores médios ficaram abaixo de 1 UFC/100 ml.

As porcentagens de tempo que as águas permaneceram com concentrações acima do limite de balneabilidade no mês de julho foram de 8%, 22 e 22%. Foi observada uma tendência de dispersão da pluma nesse mês também para a direção sudoeste-nordeste. Porém os valores máximos estão na direção nordeste. Isso porque em julho houve muitas frentes frias, forçando, através das correntes intensas, a dispersão no sentido nordeste. Nas **Figuras 70 e 71** são apresentados os mapas de valores máximos e de porcentagem de horas para o mês de julho, respectivamente.

Figura 70: Concentração máxima de enterococos (UFC/100 ml) na camada de meia profundidade no mês de julho/2012.

Figura 71: Porcentagem de horas que as águas permaneceram acima do limite de 100 enterococos (UFC/100 ml), como descrito na CONAMA n° 274/2000, na camada de meia profundidade no mês de julho/2012.

Os resultados no mês de agosto foram similares aos dos meses de janeiro e março, porém formando uma pluma bem menor que as plumas dos dois meses anteriores. No centro da pluma, as concentrações ultrapassaram o limite de balneabilidade durante 8% na

superfície, 25% a meia profundidade e 20% no fundo. O mapa para meia profundidade é apresentado na **Figura 71**.

Considerando os resultados dos quatro meses, pode-se identificar sentidos predominantes de dispersão de nordeste e sudoeste. Esse sentido de dispersão está ligado ao sentido das correntes. Sendo assim, durante as passagens de frentes frias, a diluição tem sentido nordeste. A maré ajuda na dispersão da pluma para todas as direções, porém por pequenas distâncias.

O núcleo da pluma é o local onde as concentrações superam o limite de 100 UFC/100 ml por mais tempo. Em geral, segue pela linha de dispersão nas direções sudoeste-nordeste. Assim, a dispersão de esgotos nas águas do Guarujá tende a um comprometimento da qualidade das águas próximo à área de descarte dos esgotos, nas direções sudoeste-nordeste.

A pluma com concentrações acima de 100 UFC/100 ml enterococos, formada no mês de janeiro, apresentou o maior comprimento, com pouco menos de 8 quilômetros na direção sudoeste-nordeste, e chegou a 2 quilômetros da Praia da Enseada. Essa maior pluma formada no mês de janeiro é consequência do maior volume de esgotos lançados ao mar. Isso porque esse mês se trata de alta temporada turística, chegando a ter quase 1 milhão de habitantes.

6.3.2.3 Todas as Fontes Juntas – Comparação Dados CETESB e SABESP

Nas **Figuras 72 a 76** são apresentadas as comparações entre dados pretéritos extraídos, do relatório anual de 2012 da CETESB, e dados do modelo de dispersão com todas as fontes modeladas por esse estudo.

Figura 72: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Enseada (Estrada de Pernambuco). Mês de março/2012.

Figura 73: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Enseada (Av. Santa Maria). Mês de março/2012.

Figura 74: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Tombo. Mês de março/2012.

Figura 75: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Perequê. Mês de março/2012.

Figura 76: Comparação entre modelo de dispersão e dados pretéritos no ponto Perequê. Mês de julho/2012.

As comparações entre dados do modelo de dispersão e dados da CETESB, para janeiro de 2012, apresentaram bons resultados, com valores bem próximos. No caso do ponto Perequê, as concentrações entre as duas fontes tiveram valores muito parecidos, ficando na mesma ordem de grandeza. Em alguns momentos ocorrem picos não registrados pelo modelo, como também picos do modelo que não foram verificados pelas amostras. Nesse último caso, pode ser devido à baixa resolução temporal do monitoramento da CETESB (**Figuras 72**). Os outros pontos também apresentaram resultados parecidos com os do Perequê.

Essas pequenas diferenças observadas entre dados reais e modelados para as praias podem ter por muitos motivos, como por exemplo a falta de informações precisas sobre as concentrações de esgotos, bem como vazões dos corpos hídricos considerados na modelagem. Para melhorar os resultados do modelo de dispersão, seria importante a realização de campanhas de coletas de dados nos corpos hídricos da região. Como também, considerar

todos os canais artificiais e rios que chegam às praias do município. Por outro lado, mesmo sem essas informações, o presente estudo alcançou ótimos resultados sobre a área de estudo e as fontes modeladas.

Na área de lançamento de esgotos pelo Emissário Submarino do Guarujá, foram comparados os resultados da modelagem com valores de enterococos medidos pela SABESP em 16/01/2012. Na **Tabela 31** são apresentados os valores medidos em campo pela SABESP, e a estatística simples do modelo de dispersão.

Os valores coletados ficaram próximos aos valores médios, medianos e/ou máximos da estatística dos dados do modelo de dispersão. A comparação desta forma foi mais eficiente, possibilitando entender se as tendências do modelo são comparáveis com valores coletados. Um ponto a ser futuramente aprimorado se encontra na calibração do modelo hidrodinâmico, através de comparação de seus resultados com medições ADCPs.

Tabela 31: Dados coletados pela SABESP em 16/01/2015, e estatísticas básicas geradas com resultados do modelo de dispersão do emissário submarino para janeiro de 2012.

Ponto	SABESP (2012)	MODELO DE DISPERSÃO				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
EM01_1	ND	184,5	518,28	7,09	0	3239,48
EM01_3	8	373,42	761,93	51,76	0	6137,4
EM01_5	6	564,36	1151,58	55,81	0	9619,77
EM02_1	47	16,13	31,89	5,57	0	457,1
EM02_3	ND	64,53	158,14	4,53	0	1156,15
EM02_5	65	23,22	77,03	1,42	0	1035,19
EM03_1	ND	52,19	147,1	3,92	0	1288,71
EM03_3	3	11,89	55,95	0,07	0	612,17
EM03_5	11	4,74	15,36	0,04	0	132,23
EM04_1	ND	10,55	33,17	1,8	0	546,11
EM04_3	1	43,53	70,76	7,77	0	533,41
EM04_5	3	76,51	128,3	22,27	0	871,45
EM05_1	ND	8,4	39,89	0,47	0	758,67
EM05_3	>470	35,44	112,83	0,72	0	1204,33
EM05_5	>470	78,78	193,29	4,2	0	1623,93
EM06_1	ND	18,12	45,64	1,4	0	380,03
EM06_3	ND	2,05	7,19	0,08	0	107,63
EM06_5	ND	1,14	4,34	0,01	0	43,51
EM07_1	>470	6,36	15,6	1,2	0	244,3
EM07_3	4	24,96	41,4	3,43	0	347,24
EM07_5	5	35,45	58,13	6,62	0	420,97
EM08_1	82	3,44	8,74	0,29	0	108,66
EM08_3	62	14,88	53,42	0,38	0	593,79
EM08_5	56	25,98	67,86	0,98	0	571,88
EM09_1	ND	13,67	26,63	5,67	0	225,66
EM09_3	ND	24,83	71,31	0,64	0	554,21
EM09_5	ND	7,86	38,25	0,2	0	491,16
EM10_1	2	8,84	15,32	3,41	0	131,21
EM10_3	ND	11,11	30,85	0,55	0	257,71
EM10_5	3	2,96	15,1	0,06	0	199,09
EM11_1	16	1,7	3,42	0,18	0	22,87
EM11_3	ND	5,66	12,46	0,22	0	87,63
EM11_5	18	5,04	11,57	0,26	0	102,37
EM12_1	3	2,16	4,31	0,16	0	29,16
EM12_3	47	6,28	17,06	0,2	0	162,76
EM12_5	20	6,17	17,01	0,24	0	184,13
EM13_1	58	0,75	2,64	0	0	22,62
EM13_3	25	0,03	0,08	0	0	0,78
EM13_5	ND	0,01	0,04	0	0	0,23

7. CONCLUSÃO

Dados pretéritos da CETESB e SABESP

As praias do município de Guarujá apresentaram piora da qualidade de suas águas nos últimos cinco anos, especialmente a Praia do Perequê, que está sob contaminação crônica por esgoto. As demais praias apresentaram influência de fontes que atuam de forma intermitente, alterando a qualidade das praias. Os meses de primavera e verão tendem a piores resultados comparados aos meses de outono e inverno.

O método utilizado para classificação da qualidade das praias, descrito na Resolução do CONAMA nº 274/2000, pode mascarar a situação da região, classificando erroneamente as praias e colocando em risco banhistas que as utilizam.

Os dados possibilitou a observação de concentrações muito elevadas de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml), tanto nos canais artificiais localizados na Praia da Enseada, como nos rios localizados na Praia do Perequê. Suas concentrações tinha a mesma ordem de grandeza de concentrações encontradas em efluentes de emissários submarinos.

Os valores coletados pela SABESP na região do Emissário Submarino do Guarujá, e analisados nesse trabalho, não permitiram identificação da direção de dispersão e diluição da pluma, área de impactada e concentrações máximas. Isso devido sua baixa resolução espaço-temporal.

Modelo Hidrodinâmico

A comparação dos resultados de nível do mar do modelo hidrodinâmico com valores de previsão harmônica obteve excelentes resultados. Indicando ótima representatividade das variações do nível do mar pelo modelo hidrodinâmico.

As correntes simuladas pelo modelo no estuário de Santos e São Vicente, e Canal de Bertioga, representou muito bem as enchentes e vazantes do Complexo Estuarino de Santos e São Vicente. A influência da cunha salina em profundidade foi observada no Canal do Porto, e com menor intensidade, na desembocadura oeste do Canal de Bertioga.

Na Baía de Santos foram observadas correntes formando célula de recirculação, diminuindo a renovação das águas.

As simulações hidrodinâmicas também representaram excelentemente as correntes da região do Emissário Submarino do Guarujá.

Modelagem de Dispersão de Esgoto

A dispersão de esgotos nas praias, considerando apenas os canais artificiais e rios, confirmou o impacto sobre a Praia do Perequê, que está sob contaminação crônica de suas águas. Já as outras praias estão sob influência de fontes que atuam de forma intermitente, permitindo o retorno da qualidade das praias após certo tempo. Foi observado também que os esgotos lançados pelos canais artificiais e pelos rios na Praia do Perequê podem interferir na Praia de Pernambuco.

As concentrações coletadas nos postos de monitoramento da CETESB, e utilizadas na classificação das praias do Guarujá, não indicam as concentrações máximas presentes nas águas. Os resultados do modelo demonstrou que as concentrações próximas às fontes de lançamento de esgotos, ultrapassam as concentrações observadas nos pontos de monitoramento em uma ordem de grandeza, proporcionando riscos aos banhistas.

A chuva é uma das principais forçantes para aumento das concentrações de esgoto nas praias. Isso devido a presença de rios e canais artificiais nas praias do município.

As diluições das plumas do emissário submarino são mais eficientes nas direções sudoeste e nordeste, apresentando as menores concentrações de enterococos ao fim do campo próximo. Durante passagem de sistemas frontais a pluma tende a apresentar maiores comprimentos e diâmetros de pluma para nordeste.

No campo afastado, as direções predominantes de dispersão também foram para sudoeste e para nordeste, formando uma área central com maior concentração de esgotos, e duas áreas laterais, uma para cada direção, com valores acima dos limites de balneabilidade. As dispersões nesses sentidos estão ligadas às correntes forçadas pelo processo barotrópico e pela maré.

As plumas do emissário submarino formadas nos mês de alta temporada tendem a serem maiores, e com concentrações mais elevadas de esgoto.

O Emissário Submarino do Guarujá chegou a influenciar as praias de Astúrias, Pitangueiras e Enseada com concentrações inferiores a 13 UFC/100 ml. Não proporcionando riscos aos banhistas. Mas ao consideramos as influencias dos canais artificiais e rios, as concentrações chegam a ultrapassar o limite de balneabilidade para recreação de contato primário. Assim, os grandes responsáveis pela má qualidade das águas das praias são os canais artificiais e os rios, que lançam águas contaminadas diretamente nas praias.

As comparações entre dados do modelo de dispersão e dados medidos em campo foram satisfatórias, demonstrando que o modelo se aproximou bem das condições reais ocorridas no ambiente.

Como resultado desse trabalho, foi desenvolvido modelo numérico hidrodinâmico e de dispersão de esgoto, que poderá servir como modelo preditivo caso necessário. Também foi desenvolvido conhecimentos científicos para a região do Guarujá.

REFERENCIAS

- ABESSA, D.M. DE S.; RACHID, B.R., MOSER, G.A DE O.; & OLIVEIRA, A.J.F.C. **Efeitos ambientais da disposição oceânica de esgotos por meio de emissários submarinos: uma revisão.** O Mundo da Saúde, São Paulo - 2012;36(4):643-661
- ANDRADE, K.M. Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos, 185 p., 2005.
- BI, H.; SI, H. Dynamic risk assessment of oil spill scenario for Three Gorges Reservoir in China based on numerical simulation. **Safety science**, v. 50, n. 4, p. 1112-1118, 2012.
- BLENINGER, T. **Coupled 3D Hydrodynamic Models for Submarine Outfalls: Environmental Hydraulic Design and Control of Multiport Diffusers.** Tesi de Doutorado, Universidade of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, ISBN: 978-3-86644-160-6, 2006.
- BLENINGER, T.; JIRKA, G. H. Near-and far-field model coupling methodology for wastewater discharges. In: Environmental Hydraulics and Sustainable Water Management, Proceedings of the 4th International Symposium on Environmental Hydraulics and 14th **Congress of Asia and Pacific Division, International Association of Hydraulic Engineering and Research.** 2004. p. 15-18.
- BRASIL, 2000. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Resolução CONAMA 274/00. “Dispõe sobre a classificação de balneabilidade de água para recreação de contato primário”. Data da legislação: 29/11/2000 – Publicação: **Diário Oficial da União** em 29/11/2000.
- BRASIL, 2005. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Resolução CONAMA 357/05. “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”. Data da legislação: 18/03/2005 – Publicação: **Diário Oficial da União** em 18/03/2005.
- BROOKS, N.H. Dispersal of wastewater in the ocean - a cascade of processes at increasing scales. Proc. of the **Conf. Water for Resource Development**, Coeur d'Alene, 14-17, 1984.
- BURKHARDT, W.; CALCI, K.R. Selective accumulation may account for shellfish-associated viral illness. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, n. 4, p. 1375-1378, 2000.
- CANDELLA, R.N. Estudo de Casos de Ondas no Atlântico Sul Através de Modelagem Numérica. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. XIII, 80p. 1997.
- CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2003: **Balneabilidade das Praias.** São Paulo: CETESB, 2003.
- CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2004: **Balneabilidade das Praias.** São Paulo: CETESB, 2004.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2005: **Balneabilidade das Praias**. São Paulo: CETESB, 2005.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2006: **Balneabilidade das Praias**. São Paulo: CETESB, 2006.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2007: **Balneabilidade das Praias**. São Paulo: CETESB, 2007.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2008: **Balneabilidade das Praias**. São Paulo: CETESB, 2008.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2009: **Balneabilidade das Praias**. São Paulo: CETESB, 2009.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2010: **Balneabilidade das Praias**. São Paulo: CETESB, 2010.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2011: **Balneabilidade das Praias**. São Paulo: CETESB, 2011.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2012: **Balneabilidade das Praias**. São Paulo: CETESB, 2012.

CHRISTO, S.W.; ABSHER, T.M.; KOLM, H.E.; & CRUZ-KALED, A.C.D. Qualidade da água em área de cultivo de ostras na Baía de Guaratuba. Paraná–Brasil. 2008.

COHEN, J.E.; SMALL, C.; MELLINGER, A.; GALLUP, J. & SACHS, J.D. Estimates of coastal populations. **Science (Wash.)**. 1997.

EGBERT, G.D., EROFEEVA S.Y. Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. **J. Atmos. Oceanic Technol.**, 19, 183–204. 2002.

FERREIRA, J.A. Estudo das associações de anelídeos Polychaeta da Baía de Santos e Plataforma Continental Adjacente (SP, Brasil) e suas inter-relações com parâmetros físicos e geoquímicos estruturadores. São Paulo: IOUSP, 2008. 204 p. Tese (Doutorado).

FUNIBER (Fundação Universitária Iberoamericana). Formação Ambiental: **Tratamento de Águas Residuárias**. Florianópolis, 2008.

HARARI, J.; FRANÇA, C.A.S.; CAMARGO, R. Climatology and hydrography of Santos Estuary. Capítulo do livro **Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America**, Eds. Ramiro Neves, Job Baretta, Marcos Mateus, Instituto Superior Técnico (IST) – Lisboa, Portugal, p. 147 – 160, 2008.

HILLERBRAND, G. Coupling of near-field and far-field models for prediction of treated sewage effluent discharges into the coastal ocean. Tese (Mestrado) – Universität Karlsruhe. 2003.

HOLMAN, R.A.; LALEJINI, D.M.; EDWARDS, K. Jay Veeramony et al. A parametric model for barred equilibrium beach profiles. **Coastal Engineering**, 2014.

IBGE Censo Demográfico. Agregado de Setores Censitários dos Resultados do Universo. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. 2014

JIAN, L.; ZHONGWU, J.; WENJUN, Y. Numerical modeling of the Xiangxi River algal bloom and sediment-related process in China. **Ecological Informatics**, v. 22, p. 23-35, 2014.

KALNAY, E. *et al.* The Ncep/Ncar 40-year reanalysis project. Bull. Am. Meteorol. Soc., vol. 77, p. 437 - 470, 1996.

LAMPARELLI, C.C. & ORTIZ, J.P. Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento. São Paulo: CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2007. v. 1.

MORELISSEN, R.; VAN DER KAAIJ, T.; BLENINGER, T.. Dynamic coupling of near field and far field models for simulating effluent discharges. **Water Science & Technology**, v. 67, n. 10, 2013.

MOSCATI, M.C.L. *et al.* Estudo climatológico sobre a costa sul – sudeste do Brasil (Partes I, II e III). Anais do **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Rio de Janeiro, 2000.

ORTIZ, J.P.; ARASAKI, E.; MARCELLINO, E.B. Visão Geral dos Emissários Submarinos no Litoral Paulista. In: Lamparelli, C.C. & Ortiz, J.P. Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento. São Paulo: CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2007. v. 1. Cap. nº 2, p. 25-42.

REBOLEIRA, A.S.P.S. Microalgas Tóxicas Perigo Efectivo para a Saúde Pública. 2004.

ROBERTS, P.J.W.; SALAS, J.H.; REIFF, F.M.; LIBHABER, M.; LABBE, A.; THOMSON, J.C. Marine wastewater outfalls and treatment systems. **IWA Publishing**, 2010.

ROBERTS, P.J.W.; TIAN, X. New experimental techniques for validation of marine discharge models, Environmental Modelling & Software, Volume 19, Issues 7–8, July–August 2004, Pages 691-699, ISSN 1364-8152, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.08.005>.

RODRIGUES, J.C.S. **O monitoramento do emissário submarino como ferramenta na evolução do padrão de qualidade das águas na baía de santos**. Tese (Mestrado em Tecnologia) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2012

SABESP. Relatório Técnico da Primeira Campanha de Monitoramento da Qualidade das Águas e Dos Sedimentos da Disposição Oceânica dos Emissários Submarinos e dos Esgotos Afluentes e Efluentes das Estações de Pré-Condicionamento dos Sistemas de Esgotos Sanitários do Guarujá, de Santos e São Vicente e Da Praia Grande. 2011.

SABESP. Relatório Técnico da Quarta Campanha de Monitoramento da Qualidade das Águas e Dos Sedimentos da Disposição Oceânica dos Emissários Submarinos e dos Esgotos Afluentes e Efluentes das Estações de Pré- Condicionamento dos Sistemas de Esgotos Sanitários do Guarujá, de Santos e São Vicente e Da Praia Grande. 2012.

SARTOR, S.M.; DEGASPARI, F.A. A Balneabilidade das Praias de Santos - Discussão dos Critérios Oficiais de Avaliação. In: **XXVIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental**, 2000, Porto Alegre, RS, v. 1. 2000.

SEIXAS, N.A.B. Clima de Ondas na Bacia de Campos: Análise dos Dados Proposta de Parametrização. Tese de Doutorado, Observatório Nacional, Departamento de Geofísica. 1997.

SELUCHI, M. & MARENGO, J.A. Tropical-Mid Latitude Exchange of Air Masses during Summer and Winter in South America: Climate aspects and extreme events. **International Journal of Climatology**, 20, p. 1167-1190. 2000.

SIEGLE, E.: ASP, N.E., Wave refraction and longshore transport patterns along the Southern Santa Catarina Coast. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55(2):109-120. 2007.

SILVA, A.I.M.; VIEIRA, R.H.S.F.; MENEZES, F.G.R.; LIMA, L.N.G.C.; NASCIMENTO, S.M.M.; & CARVALHO, F.C.T. Bactérias fecais em ostras, *Crassostrea rhizophorae*. **Arq.Ciê. Mar**, v. 36, p. 63-66, 2003.

SSP. Secretaria de Serviços Públicos da Prefeitura Municipal do Guarujá. Guarujá, São Paulo, 2011.

SUBTIL, Eduardo Lucas. **Tratamento de águas residuárias utilizando emissários submarinos**: avaliação do nível de tratamento para uma disposição oceânica ambientalmente segura. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SUGAWARA, D.; GOTO, K.; JAFFE, B. Numerical models of tsunami sediment transport—Current understanding and future directions. **Marine Geology**, 2014.

TROOST, T.A.; DE KLUIJVER, A.; LOS, F.J. Evaluation of eutrophication variables and thresholds in the Dutch North Sea in a historical context—A model analysis. **Journal of Marine Systems**, v. 134, p. 45-56, 2014.

UNEP/WHO. Air Quality Management and Assessment Capabilities in 20 Major Cities.. 245 p. 1996.

VILLEGAS, B.E.; ROBERTS, P.J.W. The proposed Buenos Aires outfalls: hydrodynamic modelling. In: **International Symposium on Outfall Systems**, Mar del Plata, Argentina. 2011.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 2005.

ZHAO, L.; CHEN, Z.; LEE, K. Modelling the dispersion of wastewater discharges from offshore outfalls: A review. **Environmental Reviews**, v. 19, n. NA, p. 107-120, 2011.

ANEXOS I – Vazões dos rios.

Os rios foram inseridos na grade do modelo em grupos. As vazões estão em m³/s.

Tabela AI-32: Rios utilizados nas simulações numéricas. Eles foram separados em grupos.

Rios Localizados no Complexo Estuário Santos / São Vicente			
Grupos	Corpo Hídrico	Grupos	Corpo Hídrico
G1	Rio Boturoca	G7	Rio Cabucu
	Rio 8		Rio 2
	Rio 27		Rio 3
	Córrego Acarau de Cima	G8	Rio 6
	Córrego Acarau de Baixo		Rio Jaguareguava
	Córrego Tapua		Córrego Canhabura
	Rio 9		Córrego Guaxinduva
	Rio 28		Rio Pelaes ou Fazenda
	Rio 10		Rio Itapanhau
	Córrego da Mãe Maria		Rio da Praia
G2	Rio 31		Rio Itatinga
	Rio 29		Ribeirão Carambiu
	Rio 30		Ribeirão das Furnas
	Rio Piaçaguera	G9	Rio 7
	Rio Mogi	G10	Rio dos Bagres
G3	Rio 11	G11	Rio Cacheta
	Rio 12	G12	Rio 16
	Rio 13	G13	Rio 25
	Rio 14	G14	Rio Agari
	Rio 15	G15	Rio Trindade
	Rio 32	G16	Rio Crumau
	Rio 33	G17	Rio 4
	Rio Quilombo	G18	Rio Tia Maria
G4	Rio 34	G19	Rio 35
	Rio 17	G20	Rio 5
G5	Córrego das Neves	G21	Rio 1
	Rio 22	G22	Córrego Caiubura
	Rio 20	G23	Rio 36
	Rio 21	G24	Rio 26
	Rio 19	G25	Rio Cubatão
	Rio 18		Rio Perequê
	Rio Jurubatuba	G26	Rio Perequê - (Praia Perequê - Sul)
G6	Rio 23	G27	Rio 37 (Praia Perequê - Norte)
	Rio 24	G28	Rio 38 (Praia São Pedro)
		G29	Rio Iporanga

Tabela AI -33: Grupos inseridos na grade do modelo. As vazões são médias mensais e estão em m³/s.

Ano	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
Jan.	8,392	5,680	7,6329	0,0602	6,103	0,731	1,874	38,087	0,790
Fev.	8,955	6,062	8,1451	0,0642	6,512	0,780	2,000	40,643	0,843
Mar.	10,282	6,960	9,3517	0,0737	7,477	0,895	2,297	46,665	0,968
Abr.	8,185	5,540	7,4446	0,0586	5,952	0,712	1,828	37,147	0,771
Mai.	5,781	3,913	5,2578	0,0414	4,204	0,503	1,291	26,236	0,544
Jun.	4,261	2,885	3,8759	0,0306	3,099	0,371	0,952	19,341	0,401
Jul.	3,541	2,397	3,2207	0,0254	2,575	0,308	0,791	16,070	0,333
Ago.	3,851	2,607	3,5026	0,0276	2,801	0,335	0,860	17,478	0,363
Set.	4,446	3,010	4,0444	0,0319	3,234	0,387	0,993	20,181	0,419
Out.	6,241	4,224	5,6764	0,0447	4,538	0,543	1,394	28,325	0,588
Nov.	6,828	4,622	6,2102	0,0489	4,965	0,594	1,525	30,989	0,643
Dez.	7,580	5,131	6,8946	0,0543	5,512	0,660	1,693	34,403	0,714
Ano	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18
Jan.	0,571	0,270	0,054	0,069	0,556	0,881	0,899	0,119	0,357
Fev.	0,609	0,288	0,058	0,074	0,593	0,940	0,959	0,127	0,381
Mar.	0,699	0,331	0,066	0,085	0,681	1,079	1,102	0,145	0,437
Abr.	0,556	0,264	0,053	0,068	0,542	0,859	0,877	0,116	0,348
Mai.	0,393	0,186	0,037	0,048	0,383	0,607	0,619	0,082	0,246
Jun.	0,290	0,137	0,027	0,035	0,282	0,447	0,457	0,060	0,181
Jul.	0,241	0,114	0,023	0,029	0,234	0,372	0,379	0,050	0,151
Ago.	0,262	0,124	0,025	0,032	0,255	0,404	0,413	0,055	0,164
Set.	0,302	0,143	0,029	0,037	0,294	0,467	0,476	0,063	0,189
Out.	0,424	0,201	0,040	0,051	0,413	0,655	0,669	0,088	0,266
Nov.	0,464	0,220	0,044	0,056	0,452	0,717	0,732	0,097	0,291
Dez.	0,515	0,244	0,049	0,063	0,502	0,796	0,812	0,107	0,323
Ano	G19	G20	G21	G22	G23	G24	G25	G26	G27
Jan.	0,065	1,459	0,257	0,091	0,149	0,119	12,5569	0,0728	0,0312
Fev.	0,069	1,557	0,274	0,097	0,159	0,127	13,3994	0,0777	0,0333
Mar.	0,079	1,787	0,314	0,111	0,183	0,146	15,3846	0,0889	0,0381
Abr.	0,063	1,423	0,250	0,089	0,146	0,116	12,2470	0,0707	0,0303
Mai.	0,045	1,005	0,177	0,063	0,103	0,082	8,6496	0,0497	0,0213
Jun.	0,033	0,741	0,130	0,046	0,076	0,061	6,3763	0,0371	0,0159
Jul.	0,027	0,616	0,108	0,038	0,063	0,050	5,2982	0,0308	0,0132
Ago.	0,030	0,669	0,118	0,042	0,069	0,055	5,7623	0,0336	0,0144
Set.	0,034	0,773	0,136	0,048	0,079	0,063	6,6533	0,0385	0,0165
Out.	0,048	1,085	0,191	0,068	0,111	0,089	9,3381	0,0539	0,0231
Nov.	0,053	1,187	0,209	0,074	0,122	0,097	10,2165	0,0588	0,0252
Dez.	0,059	1,318	0,232	0,082	0,135	0,108	11,3421	0,0658	0,0282

Tabela AI -34: Grupos inseridos na grade do modelo. As vazões são médias mensais e estão em m³/s (continuação).

Ano	G28	G29
Jan.	0,0104	0,0312
Fev.	0,0111	0,0333
Mar.	0,0127	0,0381
Abr.	0,0101	0,0303
Mai.	0,0071	0,0213
Jun.	0,0053	0,0159
Jul.	0,0044	0,0132
Ago.	0,0048	0,0144
Set.	0,0055	0,0165
Out.	0,0077	0,0231
Nov.	0,0084	0,0252
Dez.	0,0094	0,0282